

平成 26 年度  
原子力施設等防災対策等委託費（斜面の安定性  
に係るリスク評価手法に関する岩塊転動試験）  
事業

平成 27 年 3 月

公益財団法人 鉄道総合技術研究所

本報告書は、公益財団法人 鉄道総合技術研究所が原子力規制委員会からの委託により実施した平成 26 年度原子力施設等防災対策等委託費（斜面の安定性に係るリスク評価手法に関する岩塊転動試験）の成果をとりまとめたものです。

本報告書の複製、転載、引用等には、原子力規制庁の承認が必要です。

## 目次

1. まえがき	1
2. 事業内容の概要	2
3. 事業内容	4
3. 1 要素試験	4
3. 1. 1 跳ね返り特性	
3. 1. 2 摩擦特性	
3. 1. 3 変形強度特性	
3. 2 岩塊転動試験	42
3. 2. 1 斜面模型の製作	
3. 2. 2 碎石粒子の寸法計測	
3. 2. 3 粒子単体による転動試験	
3. 2. 4 粒子群の転動試験	
3. 2. 5 試験結果の分析	
3. 3 岩塊転動試験の検証解析	248
3. 3. 1 解析方法	
3. 3. 2 解析結果	
3. 3. 3 解析結果の分析	
3. 4 試験データの情報整理	357
3. 4. 1 転動試験データの情報整理	
3. 4. 2 振動台試験データの情報整理	
3. 5 会議の実施	423
4. まとめ	424

## 1. まえがき

東京電力福島第一原子力発電所事故の教訓を踏まえ、原子炉施設における新規制基準では、自然現象等による共通要因故障に対する防護対策に係る規制要求が強化された。そのため、これらに係る審査のための技術的知見を拡充する必要がある。

今後、安全性向上評価の妥当性確認を実施するに当たって、自然現象の一つである原子力施設の周辺斜面を対象に確率論的リスク評価（PRA）を適用するためには、評価に必要な情報の収集及び分析、ハザード評価、フラジリティ評価等の検証が必要となる。

本事業は、地震時における原子力施設の建築・土木構築物の健全性評価手法の高度化を目的として、図 1.1 に示す原子炉建屋周辺斜面での地震時想定シナリオのうち、④土塊・土砂の衝突に係るリスク評価に向け、斜面崩壊に伴う岩塊の転動挙動に関する試験を実施して、その検証に必要なデータ取得を行うものである。具体的には、材料特性を把握するための要素試験、岩塊転動試験、岩塊転動試験の検証解析を実施する。また、斜面の安定性に係る設計・リスク評価手法の整備に資する基礎資料として、斜面崩壊に関する試験データ情報整理を行う。

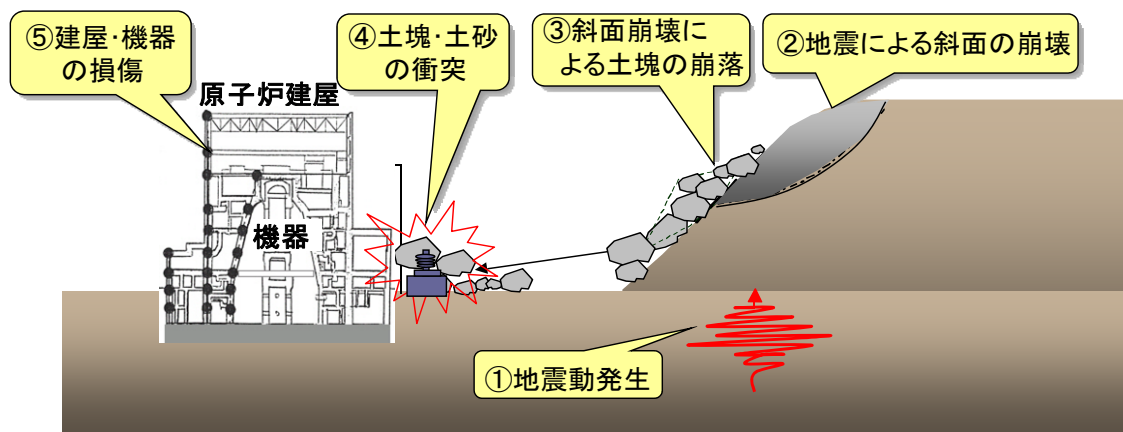


図 1.1 原子炉建屋周辺斜面での地震時想定シナリオ



## 2. 事業内容の概要

本事業では、地震時における原子力施設の建築・土木構築物の健全度評価手法の高度化を目的として、斜面崩壊に伴う岩塊の転動挙動に関する試験を実施して、その検証に必要なデータ取得を行うものである。具体的な実施内容は、

- ①要素試験
- ②岩塊転動試験
- ③岩塊転動試験の検証解析
- ④試験データの情報整理
- ⑤会議の実施

の5項目からなる。

それぞれの項目で事業内容の概要を以下に示す。

### ①要素試験

岩塊間または岩塊と斜面間の跳ね返り特性、摩擦特性および岩塊と土砂の試験材料の変形強度特性について把握する試験を実施した。

跳ね返り特性を把握する試験では、岩塊転動試験で用いる岩塊模型と斜面模型を用いて岩塊の反発試験を実施し、画像解析結果を用いて跳ね返り係数を計測した。

摩擦特性を把握する試験では、斜面模型上で岩塊模型の一面せん断試験を実施し摩擦係数を計測した。

変形強度特性を把握する試験では、大型三軸圧縮試験装置を用いて三軸圧縮試験を実施し土質定数（変形係数、粘着力、内部摩擦角等）を計測した。

### ②岩塊転動試験

斜面模型を製作し碎石単体と碎石粒子群を用いた転動試験を実施した。また、碎石粒子の寸法計測を実施した。

寸法計測はメジャーによる扁長率および扁平率計測により実施した。

碎石単体の試験では、メジャーを用いて転動後の碎石粒子の位置を計測した。また、高速度カメラを用いた画像撮影を実施し、撮影した画像による画像解析により、三次元変位軌跡、速度軌跡を計測した。

碎石粒子群の試験では、メジャーを用いて転動後の位置を計測した。また、高速度カメラを用いた画像撮影を実施し、撮影した画像による画像解析により、変位軌跡、速度軌跡を計測した。

### ③岩塊転動試験の検証解析

岩塊転動試験の検証解析を粒子法の一種の Material Point Method (MPM) で実施した。解析モデルの入力パラメータのうち、跳ね返り特性は反発試験のシミュレーションより決定し、摩擦特性と変形強度特性は、それぞれ一面せん断試験と三軸圧縮試験から求めた摩擦係数と土質定数より決定した。解析ケースについては、代表する6ケースに対し実施し、解析結果については、変形図、到達距離および速度の時刻歴、碎石単体の角速度の時刻歴について整理した。

### ④斜面崩壊に関する試験データの情報整理

振動台実験結果と転動試験結果のデータ整理を行った。

振動台実験結果については、過去実施した振動台実験結果について、データが取得されているものに対しデータ整理を行った。

- ・ 斜面模型形状
- ・ 材料物性（要素試験結果）
- ・ 代表する標点（1～3点）の変位履歴、加速度履歴
- ・ 撮影画像
- ・ 解析結果

転動試験結果については、過去実施した転動試験結果について、データが取得されているものに対し以下の項目についてデータ整理を行った。

- ・ 岩塊および土砂の軌跡履歴
- ・ 岩塊および土砂の速度履歴
- ・ 岩塊の角速度の時刻歴
- ・ 岩塊の転動係数の時刻歴
- ・ 岩塊および土砂の衝撃荷重と速度の関係

### ⑤会議の実施

地盤工学と耐震工学に関する研究者および専門家3名を含めて、事業実施期間内に計3回会議を実施した。

### 3. 事業内容

#### 3. 1 要素試験

##### 3. 1. 1 跳ね返り特性

###### (1) 試験内容

###### ①試験条件

反発試験は、岩塊間または斜面模型平坦部と岩塊との跳ね返り特性を把握するために、計 92 ケース実施した。反発試験に使用した材料は、最大粒径が 20 mm～30 mm の石灰岩（粒子 A）と最大粒径が 40 mm～80 mm の石灰岩（粒子 B）およびモルタル製の球体（直径φ60 mm）の 3 種類とした。試験条件は、表 3. 1. 1 に示すとおりである。

斜面模型平坦部と岩塊との反発試験は、写真 3. 1. 1 に示すように、粒子または球体を所定の高さから自由落下させた。なお、落下高さは、粒子 A, B で 400 mm、球体では 100 mm とした。

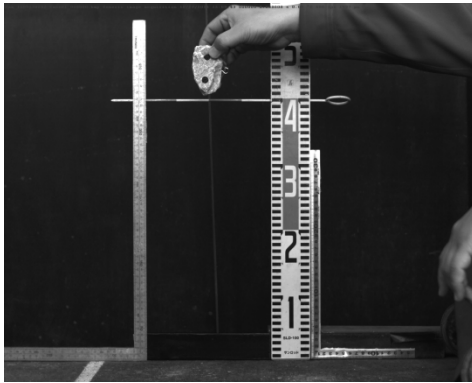
岩塊間の反発試験は、写真 3. 1. 1 に示すように、粒子または球体を紐で吊るした状態で、一方の粒子（または球体）を 100 mm 離れた状態から振り子運動させてもう一方の静止した粒子（または球体）に衝突させた。

表 3. 1. 1 反発試験条件一覧（合計 92 ケース）

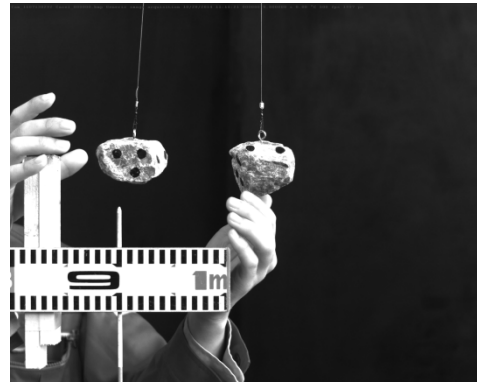
試番	試験名	落下対象	衝突対象	数量
1	斜面模型平坦部と岩塊との反発係数を求める試験※1	粒子 A	斜面模型平坦部	15
2		粒子 B	斜面模型平坦部	15
3		球形	斜面模型平坦部	15
4	岩塊間の反発係数を求める試験※2	粒子 A	粒子 A	15
5		粒子 B	粒子 B	17
6		球形	球形	15

※1 落下高さは、粒子 A、粒子 B で 400 mm、球体では 100 mm とした。

※2 反発試験時の離隔は、100 mm とした。



(a) 斜面模型平坦部と岩塊



(b) 岩塊間

写真3. 1. 1 反発試験状況

## ②計測方法

跳ね返り係数を求める際に必要な速度を計測するため、画像解析対象である砕石に対して、直径10mm程度の黒標点を描写し、標点追跡法（PIV法）により画像解析を実施した。写真3.1.2に描写後の画像解析用標点の状況を示す。なお、図中の砕石は上から砕石A、砕石B、球形砕石である。



写真3. 1. 2 砕石の画像解析用標点

反発係数については、図3. 1. 1に示すように碎石を自由落下させ、斜面底面に衝突した際の衝突速度  $V$  と跳ね返り高さ  $H$  を、高速度カメラ (M5+35/1.4) を用いて撮影した画像を用いた画像解析により計測し、式(1)より反発係数  $e$  を求めた。撮影周波数は 500fps にて撮影を行った。写真3. 1. 3に画像撮影状況を示す。

$$e = \frac{\sqrt{2gH}}{V} \quad (1)$$

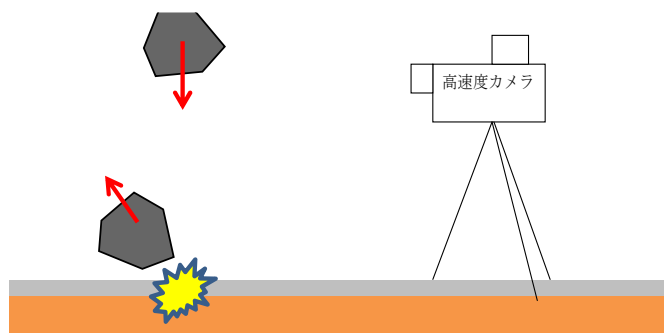


図3. 1. 1 斜面と碎石間の反発係数を求める試験の概要



写真3. 1. 3 画像撮影状況 (斜面と碎石間)

砕石間の反発係数を求める試験では、二つの砕石を紐で吊るし、図3. 1. 2に示すように一つの砕石を自由落下させ、もう一つの砕石に衝突した際の二つの砕石の衝突直前の速度  $V_1$ 、 $V_2$  と衝突直後の速度  $V_1'$ 、 $V_2'$ を画像解析により求め、式(2)より反発係数  $e$  を求めた。写真3. 1. 4に砕石間の反発係数試験の状況を示す。以上の試験を複数回実施し、平均値を反発係数としてまとめた。

$$e = \frac{V_1' - V_2'}{V_1 - V_2} \quad (2)$$

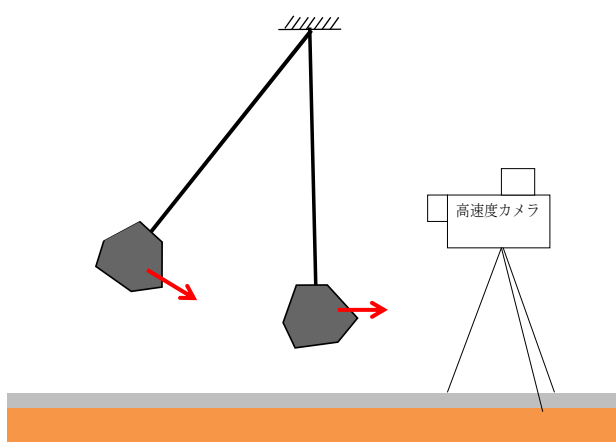


図3. 1. 2 砕石間の反発係数を求める試験の概要



写真3. 1. 4 画像撮影状況（砕石間）

画像解析は PTV (Particle Tracking Velocimetry) 法を用い、標点を追跡することで碎石の速度および位置を求めた。速度は衝突時前後、それぞれ 2 枚ずつの画像を用いて、その移動距離を移動時間 (1/500sec) で除すことで求めた。なお、画像解析には解析用ソフトウェア (ViewPoint) を用いた。写真 3. 1. 5 および写真 3. 1. 6 に画像解析に用いた撮影画像の一例を示す。

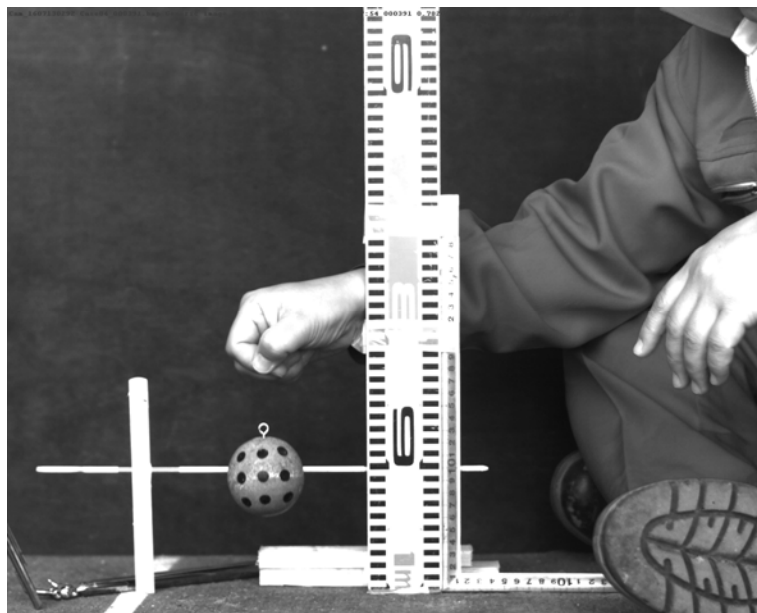


写真 3. 1. 5 斜面と碎石の反発係数を求める試験の撮影画像

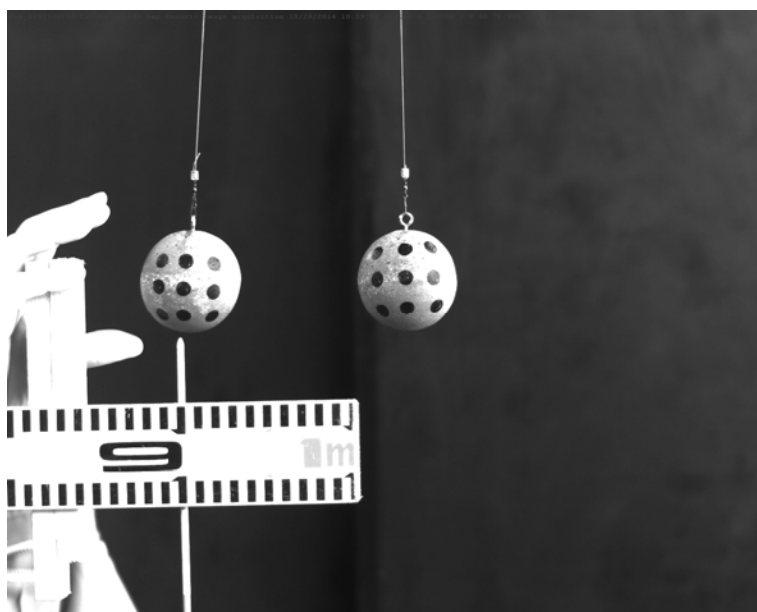


写真 3. 1. 6 斜面と碎石の反発係数を求める試験の撮影画像

③解析実施ケース

本試験では、表3. 1. 2および表3. 1. 3に示す92ケースのうち、「解析の有無」に○が付いた計15ケースに対し、反発試験の画像解析を実施し、跳ね返り係数を求めた。

表3. 1. 2 斜面底と碎石間の反発係数を求める試験ケース一覧

試番	ケース	試験名	落下対象 (碎石番号)	衝突対象 (碎石番号)	標点の種類	落下高さ (cm)	試験日	保存フォルダ番号	解析の有無	備考
1	1	斜面と碎石間の反発係数を求める試験	粒子A (2番)	斜面底面	標点なし	40	2014/10/29	01_001	-	
	2							01_002	-	
	3							01_003	-	
	4							01_004	-	
	5							01_005	-	
	6							01_006	-	
	7							01_007	-	
	8							01_008	-	
	9							01_009	-	
	10							01_010	○	
	11							01_011	○	
	12							01_012	-	
	13							01_013	-	
	14							01_014	○	
	15							01_015	-	
2	1	斜面と碎石間の反発係数を求める試験	粒子B (2番)	斜面底面	黒標点	40	2014/10/29	01_001	○	
	2							01_002	-	
	3							01_003	-	
	4							01_004	○	
	5							01_005	-	
	6							01_006	-	
	7							01_007	-	
	8							01_008	-	
	9							01_009	-	
	10							01_010	-	
	11							01_011	-	
	12							01_012	-	
	13							01_013	-	
	14							01_014	○	
	15							01_015	-	
3	1	斜面と碎石間の反発係数を求める試験	球形 (2番)	斜面底面	黒標点	40	2014/10/28	01_001	-	
	2							01_002	-	
	3							01_003	-	
	4							01_004	○	
	5							01_005	-	
	6							01_006	-	
	7							01_007	○	
	8							01_008	-	
	9							01_009	-	
	10							01_010	-	
	11							01_011	-	
	12							01_012	-	
	13							01_013	○	
	14							01_014	-	
	15							01_015	-	



表3. 1. 3 砕石間の反発係数を求める試験ケース一覧

試番	ケース	試験名	落下対象 (砕石番号)	衝突対象 (砕石番号)	標点の種類	振り幅 (cm)	試験日	保存フォルダ番号	解析の有無	備考
4	1	砕石間の反発係数を求める試験	粒子A (2番)	粒子A (1番)	黒標点	10	2014/10/30	01_001	-	
	2							01_002	-	
	3							01_003	○	
	4							01_004	-	
	5							01_005	-	
	6							01_006	-	
	7							01_007	○	
	8							01_008	-	
	9							01_009	-	
	10							01_010	-	
	11							01_011	○	
	12							01_012	-	
	13							01_013	-	
	14							01_014	-	
	15							01_015	○	
5	1	砕石間の反発係数を求める試験	粒子B (2番)	粒子B (3番)	黒標点	10	2014/10/28	01_001	-	
	2							01_002	-	
	3							01_003	-	
	4							01_004	-	
	5							01_005	-	
	6							01_006	-	
	7							01_007	-	
	8							01_008	-	
	9							01_009	-	
	10							01_010	-	
	11							01_011	-	
	12							01_012	-	
	13							01_013	○	
	14							01_014	○	
	15							01_015	○	
	16							01_016	○	
	17							01_017	-	
6	1	砕石間の反発係数を求める試験	球形 (2番)	球形 (1番)	黒標点	10	2014/10/28	01_001	-	
	2							01_002	-	
	3							01_003	-	
	4							01_004	○	
	5							01_005	-	
	6							01_006	-	
	7							01_007	-	
	8							01_008	○	
	9							01_009	-	
	10							01_010	-	
	11							01_011	-	
	12							01_012	-	
	13							01_013	-	
	14							01_014	-	
	15							01_015	○	

(2) 試験結果

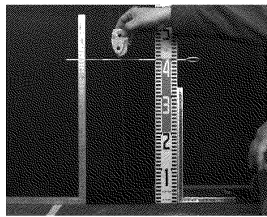
① 碎石形状および試験実施状況

反発試験に用いた碎石粒子の形状を表 3.1.4 に示す。試験の実施状況は写真 3.1.7 に示すとおりである。

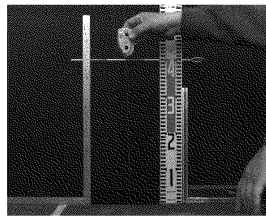
表 3.1.4 反発試験に用いた粒子形状

試番	粒子	落下対象碎石形状				衝突対象碎石形状 (mm)			
		長辺長 a (mm)	中間長 b (mm)	短辺長 c (mm)	重量 (g)	長辺長 a (mm)	中間長 b (mm)	短辺長 c (mm)	重量 (g)
1	A	30	23	22	14.8	斜面模型平坦部			
2	B	73	52	43	290.7				
3	球体	62	60	60	255.9				
4	A	29	20	19	16.9	29	22	18	16.8
5	B	70	61	41	295.8	72	60	58	293.0
6	球体	62	60	59	258.3	62	60	60	251.6

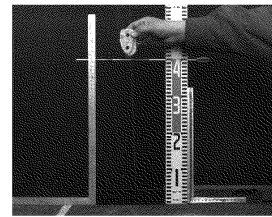




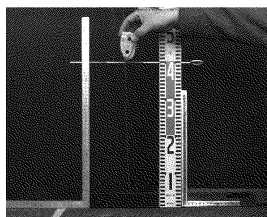
001\_試番2-1\_反発試験



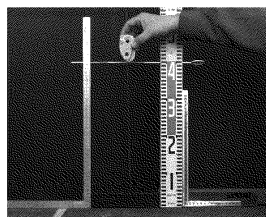
002\_試番2-2\_反発試験



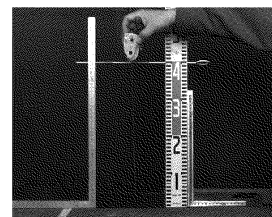
003\_試番2-3\_反発試験



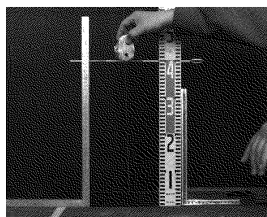
004\_試番2-4\_反発試験



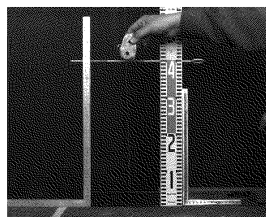
005\_試番2-5\_反発試験



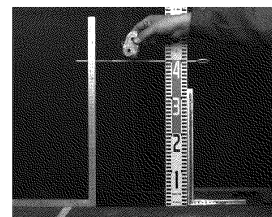
006\_試番2-6\_反発試験



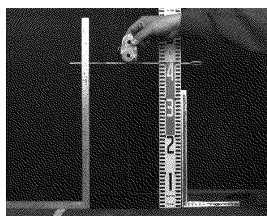
007\_試番2-7\_反発試験



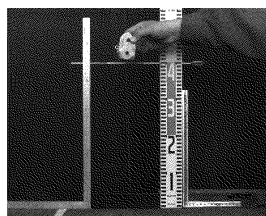
008\_試番2-8\_反発試験



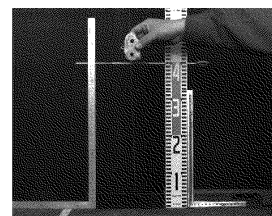
009\_試番2-9\_反発試験



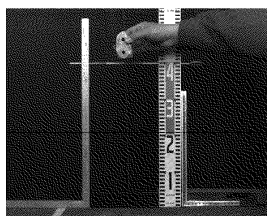
010\_試番2-10\_反発試験



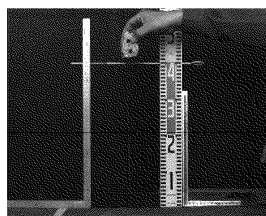
011\_試番2-11\_反発試験



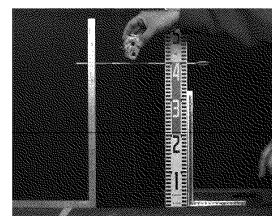
012\_試番2-12\_反発試験



013\_試番2-13\_反発試験



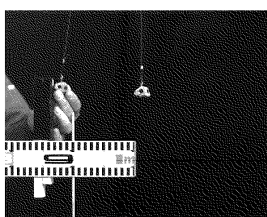
014\_試番2-14\_反発試験



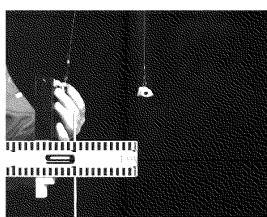
015\_試番2-15\_反発試験

写真3. 1. 7(b) 反発試験状況 試番2

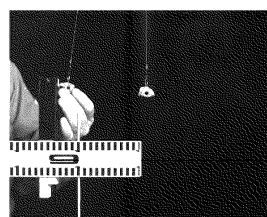




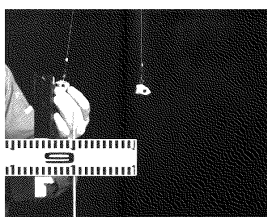
001\_試番4-1\_反発試験



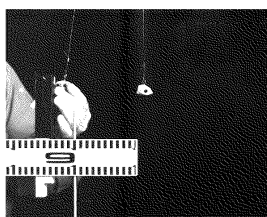
002\_試番4-2\_反発試験



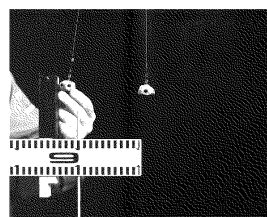
003\_試番4-3\_反発試験



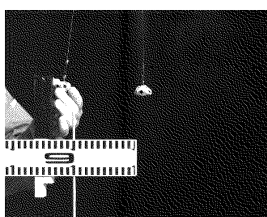
004\_試番4-4\_反発試験



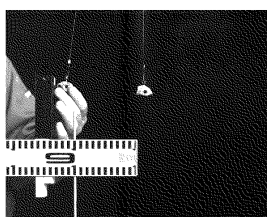
005\_試番4-5\_反発試験



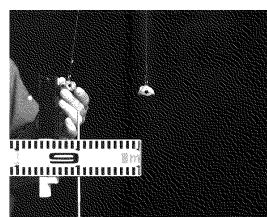
006\_試番4-6\_反発試験



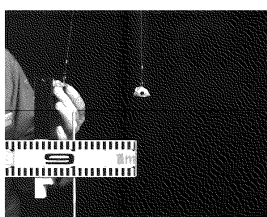
007\_試番4-7\_反発試験



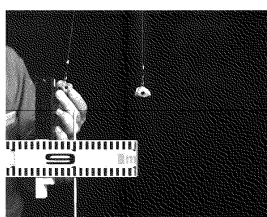
008\_試番4-8\_反発試験



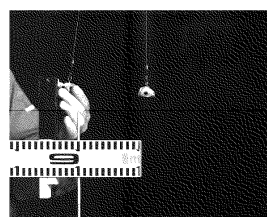
009\_試番4-9\_反発試験



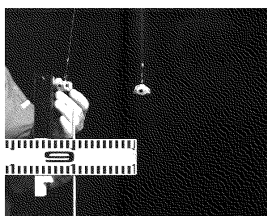
010\_試番4-10\_反発試験



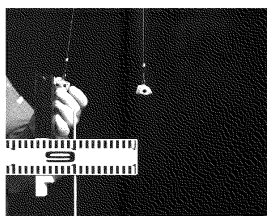
011\_試番4-11\_反発試験



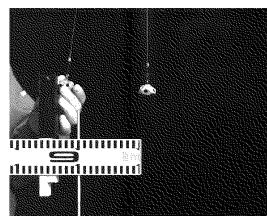
012\_試番4-12\_反発試験



013\_試番4-13\_反発試験



014\_試番4-14\_反発試験

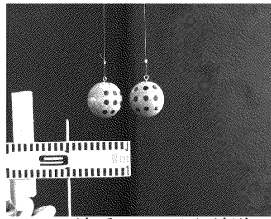


015\_試番4-15\_反発試験

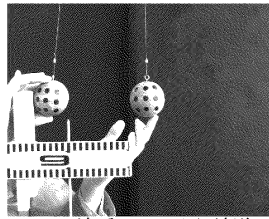
写真3. 1. 7(d) 反発試験状況 試番4



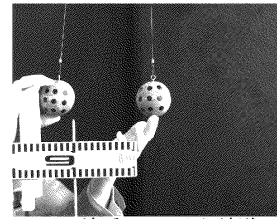




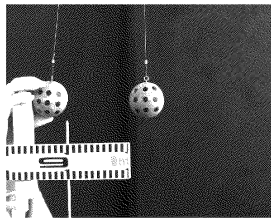
001\_試番6-1\_反発試験



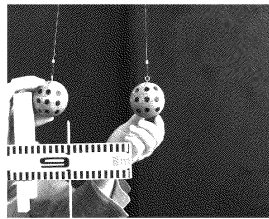
002\_試番6-2\_反発試験



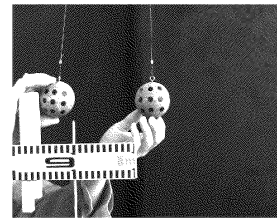
003\_試番6-3\_反発試験



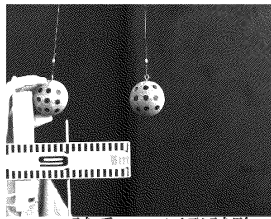
004\_試番6-4\_反発試験



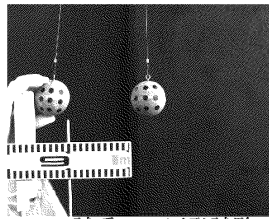
005\_試番6-5\_反発試験



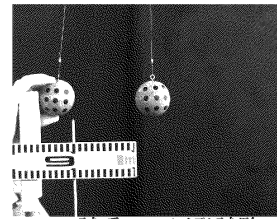
006\_試番6-6\_反発試験



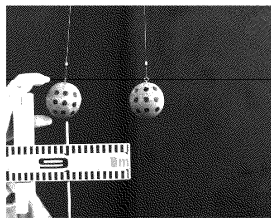
007\_試番6-7\_反発試験



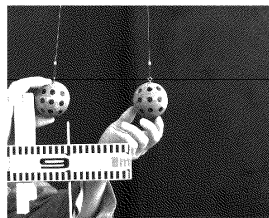
008\_試番6-8\_反発試験



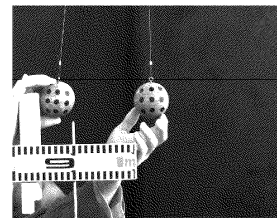
009\_試番6-9\_反発試験



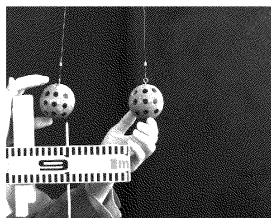
010\_試番6-10\_反発試験



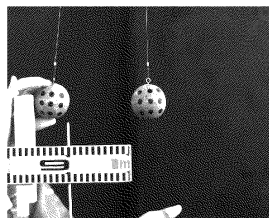
011\_試番6-11\_反発試験



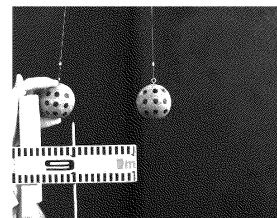
012\_試番6-12\_反発試験



013\_試番6-13\_反発試験



014\_試番6-14\_反発試験



015\_試番6-15\_反発試験

写真3. 1. 7(f) 反発試験状況 試番



②解析結果

表3. 1. 5および表3. 1. 6に反発係数計測試験の解析結果一覧を示す。

表3. 1. 5 斜面と岩塊間の反発係数を求める解析結果一覧

試番	試験名	落下対象 (碎石番号)	衝突対象	試験日	ケース	標点の種類	落下高さ cm	衝突時碎石挙動	標点No.	反発係数計測試験結果			備考	
										衝突速度の算出		反発係数 $e=(2gH)^{1/2}/V$		
										衝突速度 $V=Y/t$ mm/s	跳ね返り高さの算出 跳ね返り高さ H(極性修正) mm			
1		粒子A (83番)	流路底面	2014/10/29	10	標点なし	40	衝突後、若干斜めに跳ねた	-	3002.103000	45.356342	0.31		
					11			衝突後、回転しながら跳ねた	-	2929.606000	29.637165	0.26		
					14			衝突後、回転しながら跳ねた	-	2712.880000	52.323361	0.37		
2		粒子B (1番)	流路底面	2014/10/29	1	黒標点	40	衝突後、回転しながら跳ねた	1	2952.908500	42.676907	0.31	0.30	標点1・2の平均値
					2			3035.936500	40.699922	0.29				
					4			1	3004.148500	38.658914	0.29	0.28	標点1・2の平均値	
					2			3043.651500	33.737045	0.27				
14	1	2903.372000	21.922340	0.23	0.23	標点1・2の平均値								
2	2902.586000	24.242315	0.24											
3	斜面と岩塊間の反発係数を求める試験	球形 (3番)	流路底面	2014/10/28	4	黒標点	10	特に問題なし	1	1413.988500	21.515009	0.46	0.43	標点1～9の平均値
									2	1419.792500	19.401852	0.43		
									3	1395.870000	16.672665	0.41		
									4	1416.686500	22.013977	0.46		
									5	1425.482000	19.917867	0.44		
									6	1409.074500	17.126302	0.41		
									7	1437.909000	21.478597	0.45		
									8	1408.545000	19.561390	0.44		
									9	1563.615000	16.437080	0.36		
					7			特に問題なし	1	1449.134500	18.583677	0.42	0.39	標点1～9の平均値
									2	1450.798000	16.074000	0.39		
									3	1432.224000	14.155876	0.37		
									4	1446.987500	18.694395	0.42		
									5	1443.017000	16.390962	0.39		
									6	1440.347000	14.215912	0.37		
									7	1444.207000	18.418594	0.42		
									8	1435.997500	16.192680	0.39		
									9	1681.523000	13.830747	0.31		
					13			特に問題なし	1	2899.142500	38.818562	0.30	0.31	標点1～9の平均値
									2	2859.068500	41.023651	0.31		
									3	2824.522000	43.680770	0.33		
									4	2776.546500	38.706672	0.31		
									5	2881.288000	40.788768	0.31		
									6	2851.393500	43.517964	0.32		
									7	2956.940500	39.300101	0.30		
									8	2907.944500	41.377074	0.31		
									9	2935.500500	44.316356	0.32		

表3. 1. 6 岩塊間の反発係数を求める解析結果一覧

試番	試験名	落下対象 (碎石番号)	衝突対象 (碎石番号)	ケース	試験日	標点の種類	振り幅 (cm)	衝突時碎石挙動	落下対象碎石の速度算出				衝突対象碎石の速度算出				反発係数 $e=(V_1-V_2)/(V_1-V_2)$	備考			
									衝突直前		衝突直後		衝突直前		衝突直後						
									標点No.	衝突速度 $V_1=X_1/t_1$ mm/s	衝突速度 $V_1=X_2/t_2$ mm/s	標点No.	衝突速度 $V_2=X_3/t_3$ mm/s	衝突速度 $V_2=X_4/t_4$ mm/s	標点No.	衝突速度 $V_2=X_3/t_3$ mm/s			衝突速度 $V_2=X_4/t_4$ mm/s		
4	粒子A (2番)	粒子A (1番)	3	2014/10/30	黒標点	10	10	碎石同士がそれぞれ反対方向に回転した	1	367.560000	362.304000	90.299000	90.556750	3	-0.391000	370.540000	-0.77	碎石質量が小さいため 風による影響大			
								2	357.048000		90.814500										
								1	379.162000	381.825250	244.300000	273.668750	3	-10.385000	179.299500	207.072000	0.17				
								2	384.488500		303.037500		4	-8.175500	234.844500						
5	粒子B (2番)	粒子B (3番)	15	2014/10/28	黒標点	10	10	落下対象碎石が、衝突後も衝突対象碎石を押し続けた	1	351.425000	360.295750	244.096000	236.323750	3	3.931500	244.600500	-0.023				
								2	369.166500		228.551500										
								1	376.543000	371.748750	180.622000	181.010500	3	-4.820000	258.849500		-0.207				
								2	366.954500		181.399000										
6	球形 (2番)	球形 (1番)	8	2014/10/28	黒標点	10	10	衝突後、激しく揺れた	1	312.943500	294.507500	74.378500	86.072250	3	8.808500	304.998500	296.196250	-0.75			
								2	276.071500		97.766000		4	20.294000	287.394000						
								1	302.833500	299.254000	191.931500	185.832250	3	2.843500	284.339500	267.128750	-0.27				
								2	295.674500		179.733000		4	1.251000	249.919000						
6	球形 (2番)	球形 (1番)	15	2014/10/28	黒標点	10	10	特に問題なし	1	125.921000	129.107000	139.793000	142.694000	3	145.435000	134.905500	136.548000	-0.26			
								2	132.583000		151.595000		4	159.949500	138.190500						
								1	873.954500	875.351500	598.475000	635.245750	3	4.512000	609.134500	732.644000	-0.11				
								2	876.748500		672.016500		4	31.171500	856.153500						
6	球形 (2番)	球形 (1番)	4	2014/10/28	黒標点	10	10	特に問題なし	1	325.495500	304.602500	30.388000	45.365389	10	16.793000	316.890000	280.035667	-0.78			
								2	323.042000		51.613000		11	0.055500	301.873500						
								3	172.435500		24.024500		12	2.706500	301.107000						
								4	334.672000		-2.355500		13	-5.370000	287.915000						
								5	350.487500		36.497000		14	4.331500	273.291000						
								6	324.258000		65.277500		15	4.698000	296.852500						
			15	2014/10/28	黒標点	10	10	10	10	特に問題なし	7	323.972000	330.790667	61.877500	53.039222	14	-5.028000	286.242000	283.714000	-0.70	
										8	264.436000		63.393000		15	1.404000	295.017500				
										9	322.624000		61.559000		16	3.574000	262.420000				
										1	327.031500		31.161000		17	-2.611000	217.370500				
										2	328.248500		52.851000		18	8.351000	262.601500				
										3	342.323500		3.717500		10	-1.256500	279.461000				
6	球形 (2番)	球形 (1番)	15	2014/10/28	黒標点	10	10	衝突後、衝突対象碎石が若干回転した	1	328.431500	314.401056	24.160000	34.929056	10	0.499000	313.875000	291.776000	-0.82			
								2	328.104000		20.223500		11	-4.756500	340.169500						
								3	323.824500		36.627000		12	-5.758000	313.265500						
								4	325.663000		39.150500		13	-0.270000	284.359000						
								5	324.025000		14.423000		14	7.971000	312.659500						
								6	334.808000		36.997500		15	0.016500	283.106000						
6	球形 (2番)	球形 (1番)	15	2014/10/28	黒標点	10	10	衝突後、衝突対象碎石が若干回転した	7	243.426000	314.401056	43.568000	34.929056	16	5.618000	283.986500	291.776000	-0.82			
								8	300.090000		59.843000		17	-3.234000	217.038000						
								9	321.237500		39.369000		18	3.105000	277.525000						
								1	328.431500		24.160000		10	0.499000	313.875000						
								2	328.104000		20.223500		11	-4.756500	340.169500						
								3	323.824500		36.627000		12	-5.758000	313.265500						

表 3.1.7 に反発係数の平均値をまとめたものを示す。粒子 A, 粒子 B ともに、斜面と碎石間または碎石間によらず、0.30 程度であった。一方、球形は、斜面と碎石間は 0.38、碎石間では 0.77 であり、他より大きい値になった。

表 3.1.7 反発係数 (平均値) 一覧

	粒子 A	粒子 B	球形
斜面と碎石間	0.32	0.27	0.38
碎石間	0.29	0.35	0.77

### 3. 1. 2 摩擦特性

#### (1) 試験条件

一面せん断試験は、斜面模型表面のモルタル面と転動試験で使用する材料との摩擦係数を把握するために、材料と上載荷重をパラメータとして合計 18 ケース実施した。一面せん断試験の概要と試験条件は、図 3. 1. 3 と表 3. 1. 8 にそれぞれ示すとおりである。

試験体は、内寸法で幅 500 mm×奥行き 500 mm×高さ 260 mmの鋼製せん断箱内に材料を敷き均して、試験体高さが 250 mmとなるように作製した（写真 3. 1. 8）。また、せん断試験は、作製した試験体天端に載荷板と重錘（上載荷重）を載せて、せん断箱と油圧ジャッキをチェーンで接続した状態で水平に載荷した（写真 3. 1. 9）。なお、せん断試験時は、せん断箱の水平変位と載荷荷重を計測した。表 3. 1. 9 は、使用した計測器の詳細仕様を示したものである。

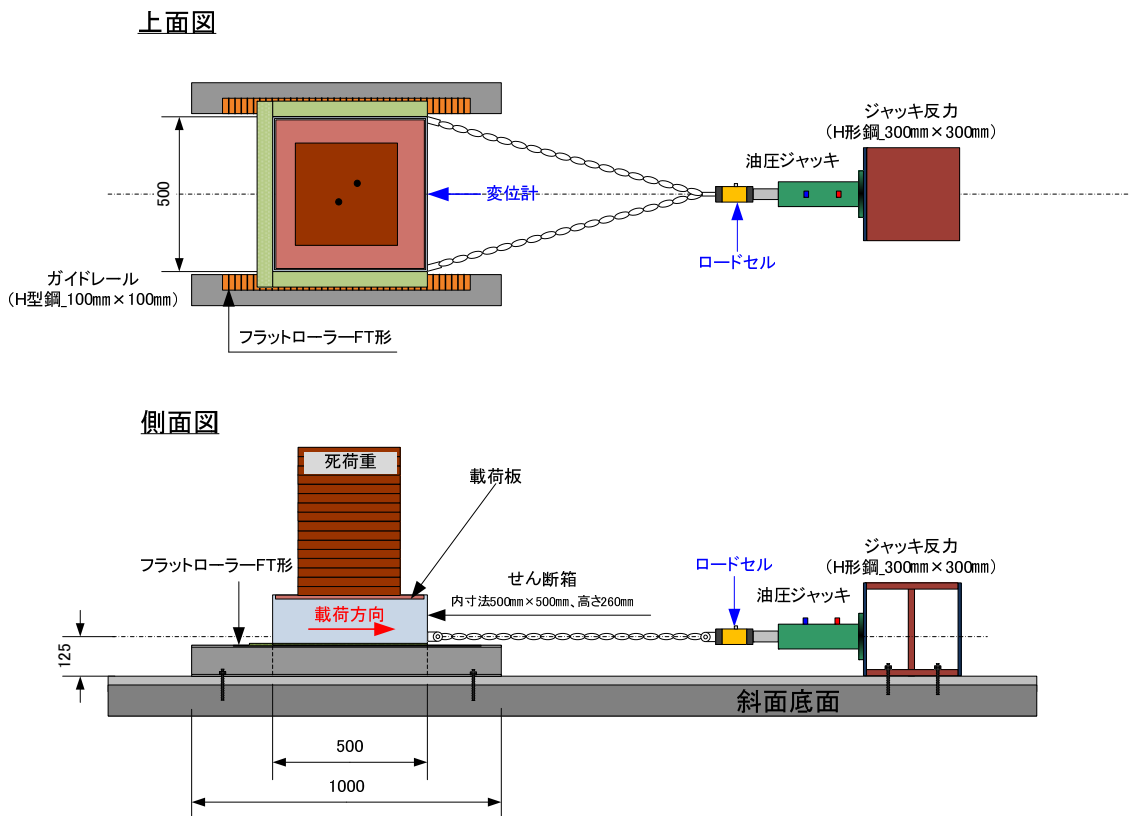


図 3. 1. 3 一面せん断試験概要

表3. 1. 8 一面せん断試験条件一覧 (合計 18 ケース)

試 番		粒子分類	細粒分 <sup>※1</sup> 含有率 (%)	上載荷重 (kPa)	数 量	
1	1-1	粒子 A 最大粒径 20 mm~30 mm	0	4.7	1	
	1-2			8.7	1	
	1-3			16.5	1	
2	2-1		20	60	4.7	1
	2-2				8.7	1
	2-3				16.5	1
3	3-1		60	0	4.7	1
	3-2				8.7	1
	3-3				16.5	1
4	4-1	粒子 B 最大粒径 40 mm~80 mm	0	4.7	1	
	4-2			8.7	1	
	4-3			16.5	1	
5	5-1		20	60	4.7	1
	5-2				8.7	1
	5-3				16.5	1
6	6-1		60	0	4.7	1
	6-2				8.7	1
	6-3				16.5	1

※1 細粒分には、ファインサンドと東北硅砂6号を重量比1:1で配合した材料を使用した。

※2 粒子と細粒分の配合は、人力で行った。



(a) 使用材料全景



(b) 材料攪拌状況



(c) 試験体作製 (粒子A、細粒分0%)



(d) 試験体作製 (粒子A、細粒分20%)

写真3. 1. 8 試験体作製状況

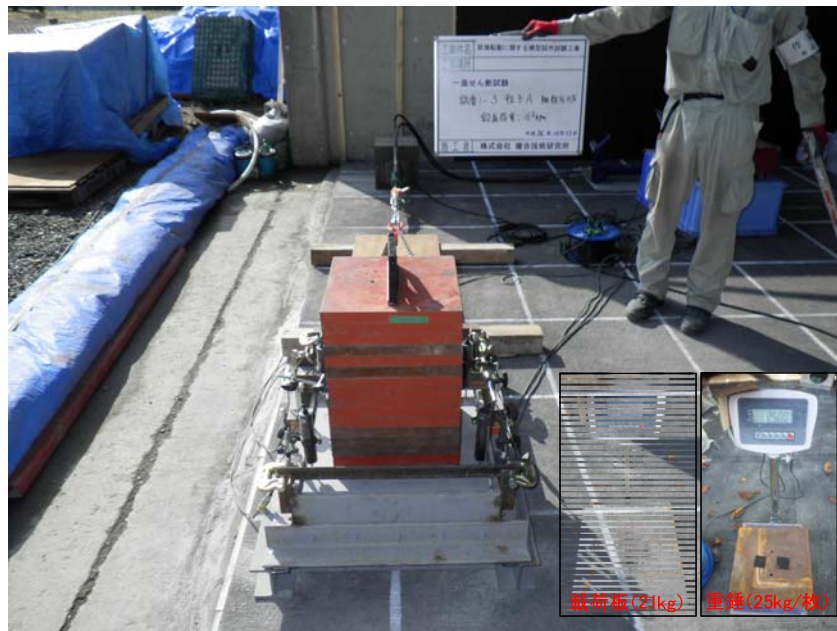
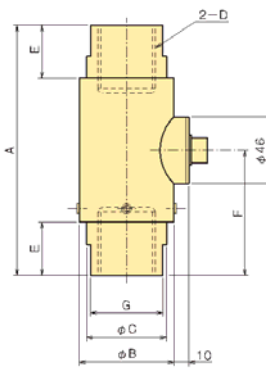
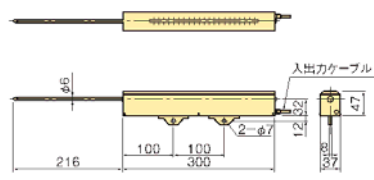


写真3. 1. 9 一面せん断試験状況

表3. 1. 9 計測器の詳細使用一覧

計測器 項目	型 式	仕 様	外 観
ロード セル	TCLP-50KNB	メーカー： 株式会社 東京測器研究所 容 量：50 k N 定格出力：1.0m V/V 使用用途： 一面せん断試験時のせん断 箱の載荷荷重計測	
変位計	SDP-200	メーカー： 株式会社 東京測器研究所 容 量：200 mm 定格出力：5.0m V/V 使用用途： せん断箱の変位量計測	

(2) 試験結果

一面せん断試験結果は、表 3.1.10 および図 3.1.4 に示すとおりである。粒子 A、B ともに最大強度については、粘着力、内部摩擦角ともに細粒分率の影響は小さかった。一方、残留強度については、粒子 A では、細粒分率が大きいほど内部摩擦角が大きくなる傾向、粒子 B では、細粒分率が大きいほど内部摩擦角が小さくなる傾向が見られたが、全体的に大きな影響は見られなかった。

表 3.1.10 一面せん断試験結果一覧

試番	粒子 (mm)	細粒分率 (%)	鉛直荷応力 (kPa)	供試体密度 $\rho_d$ (g/cm <sup>3</sup> )	せん断応力		最大強度 (peak)		残留強度 (res)	
					最大 (kN/m <sup>2</sup> )	残留 (kN/m <sup>2</sup> )	粘着力 $c$ (kPa)	内部摩擦角 $\phi$	粘着力 $c$ (kPa)	内部摩擦角 $\phi$
1-1	A (20~30)	0	4.7	1.53	8.0	5.5	4.8	32.8	3.2	26.8
1-2			8.7	1.51	10.1	7.7				
1-3			16.5	1.52	15.5	11.5				
2-1		20	4.7	1.80	7.2	6.3	4.3	31.0	4.2	23.6
2-2			8.7	1.81	9.6	7.8				
2-3			16.5	1.80	14.3	11.4				
3-1		60	4.7	1.72	6.0	5.8	3.1	34.3	3.1	32.6
3-2			8.7	1.78	9.5	9.1				
3-3			16.5	1.79	14.2	13.5				
4-1	B (40~80)	0	4.7	1.47	7.3	6.3	3.7	34.9	3.0	33.4
4-2			8.7	1.46	9.4	8.5				
4-3			16.5	1.48	15.4	14.0				
5-1		20	4.7	1.81	7.2	6.6	4.0	35.0	3.4	33.0
5-2			8.7	1.81	10.2	8.9				
5-3			16.5	1.84	15.5	14.2				
6-1		60	4.7	1.85	6.9	5.6	3.8	34.4	3.6	27.6
6-2			8.7	1.85	9.8	8.9				
6-3			16.5	1.82	15.0	12.0				

$\phi$  : (DEG.)



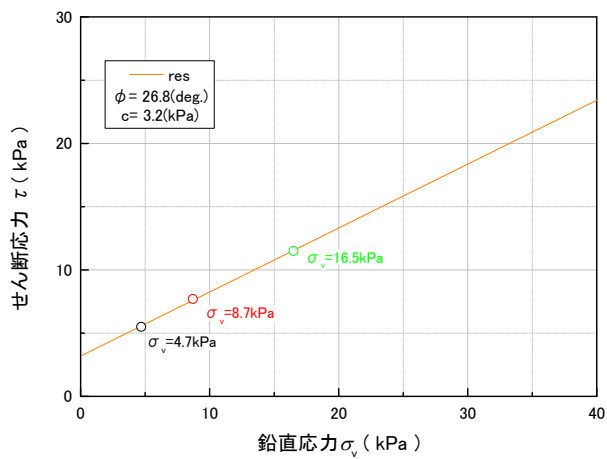
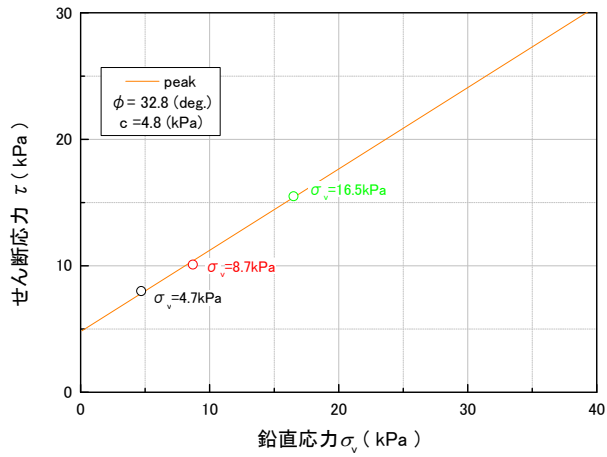
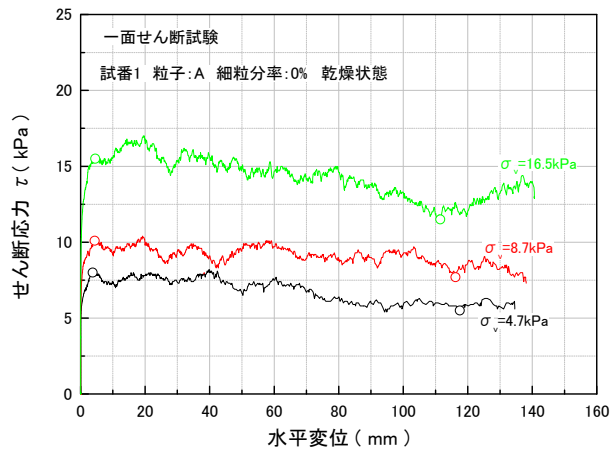


図3. 1. 4 (a) 一面せん断試験結果 試番1 粒子A 細粒分0%

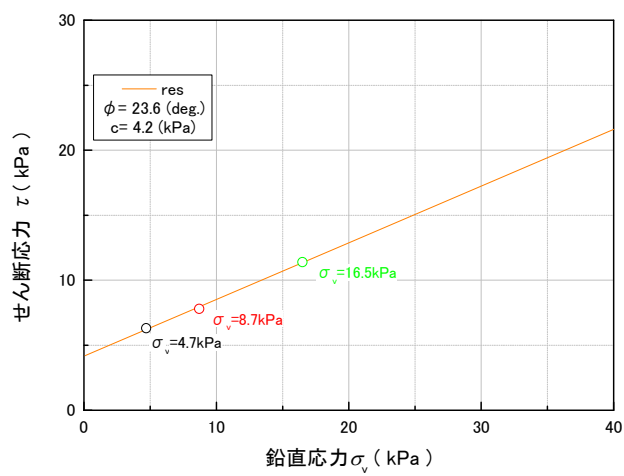
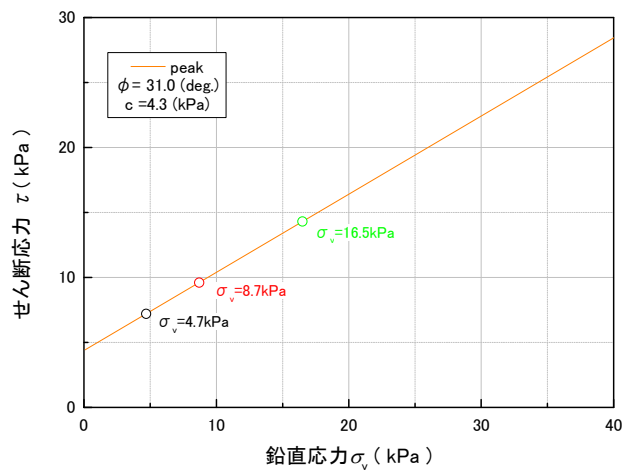
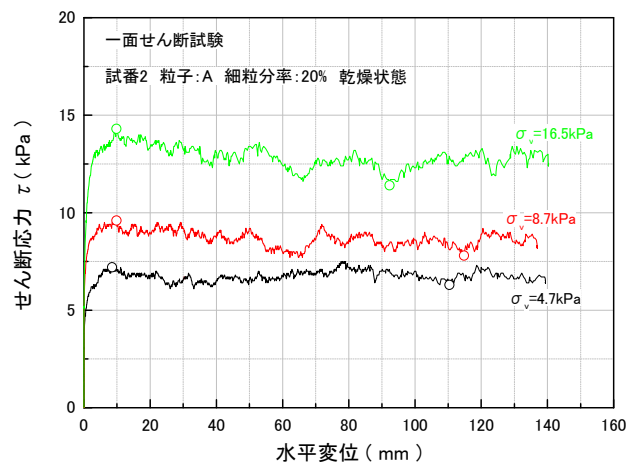


図3. 1. 4 (b) 一面せん断試験結果 試番2 粒子A 細粒分20%

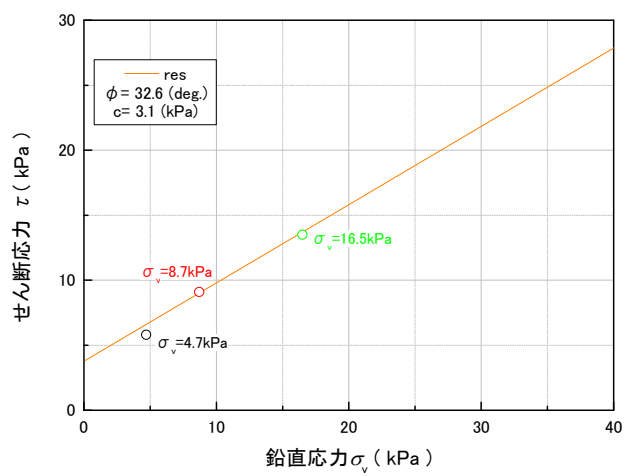
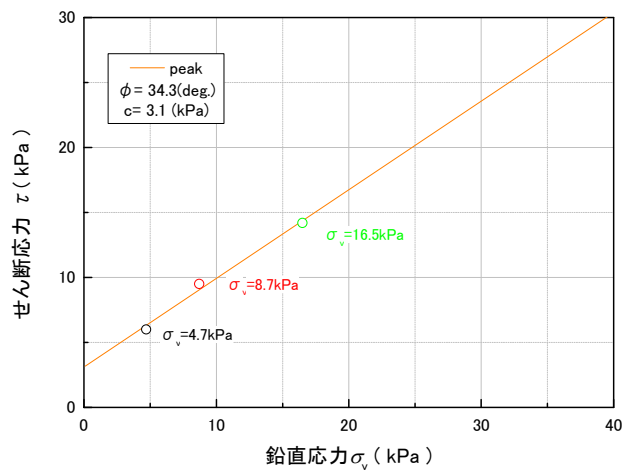
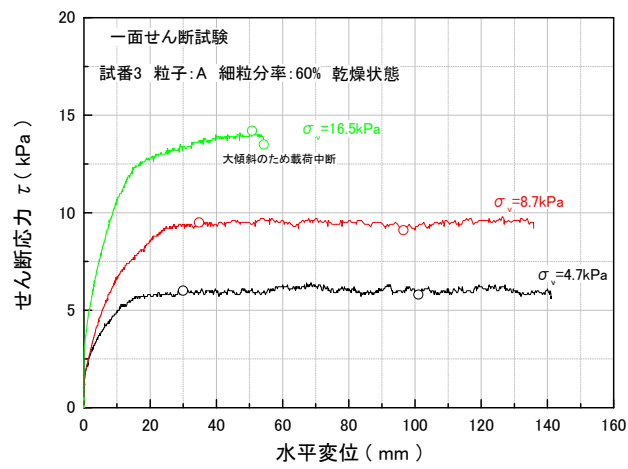


図3. 1. 4 (c) 一面せん断試験結果 試番3 粒子A 細粒分60%

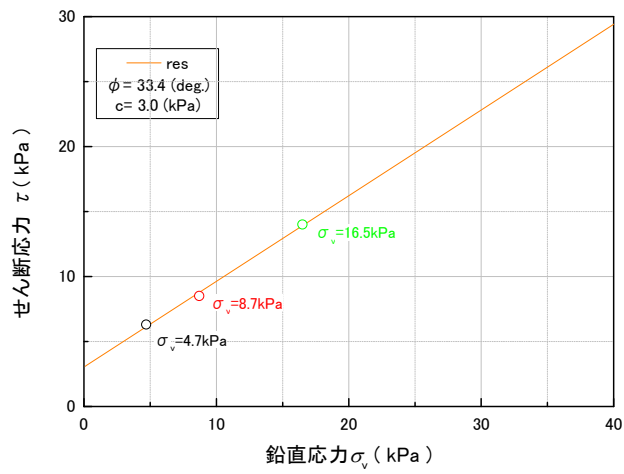
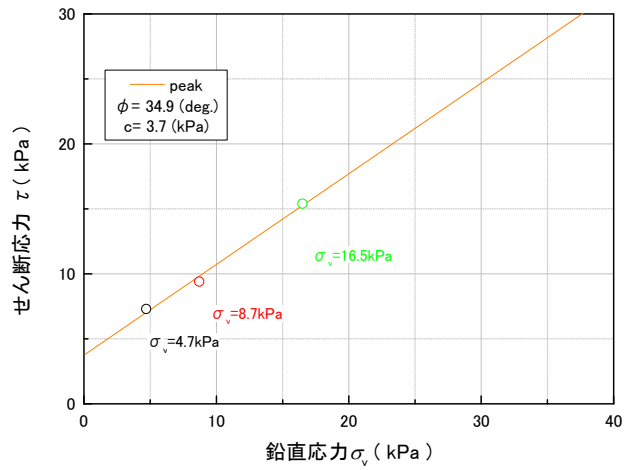
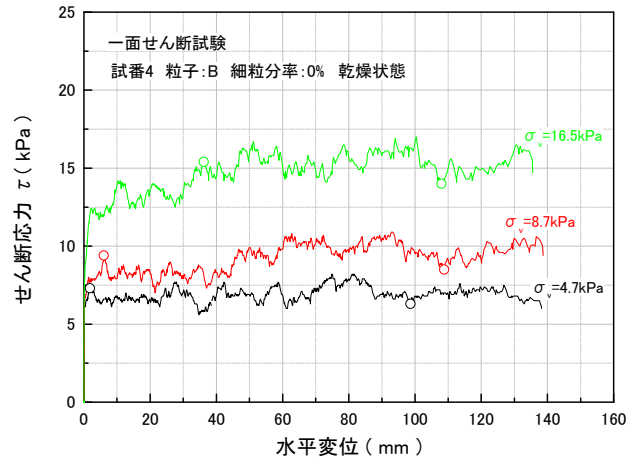


図 3. 1. 4 (d) 一面せん断試験結果 試番 4 粒子 B 細粒分 0%

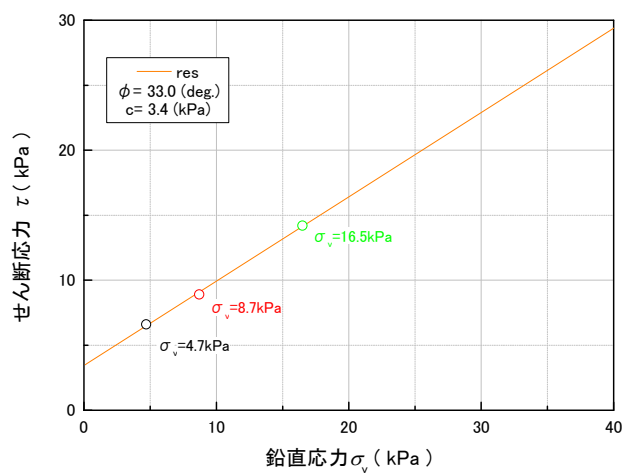
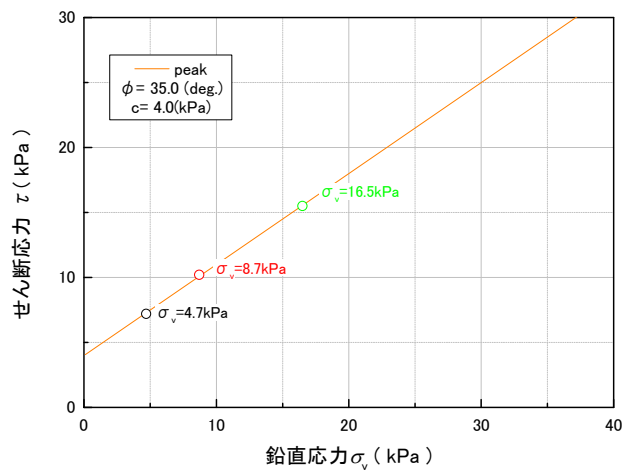
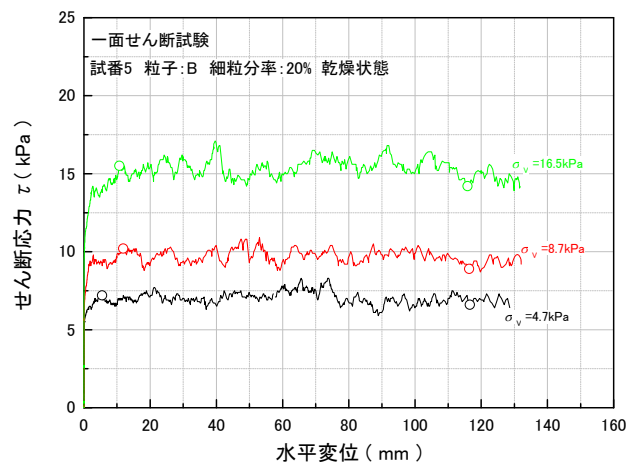


図3. 1. 4 (e) 一面せん断試験結果 試番5 粒子B 細粒分率20%

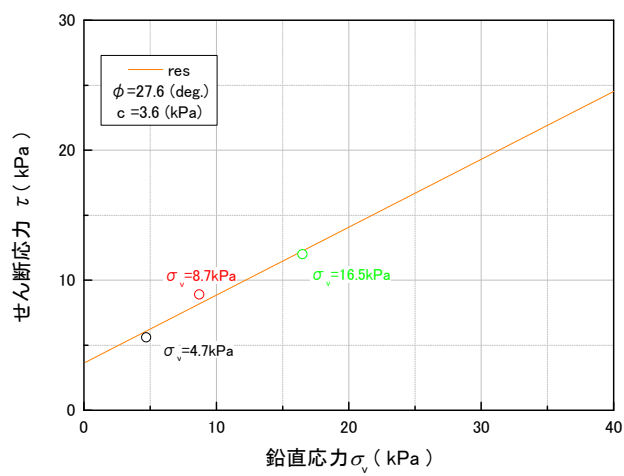
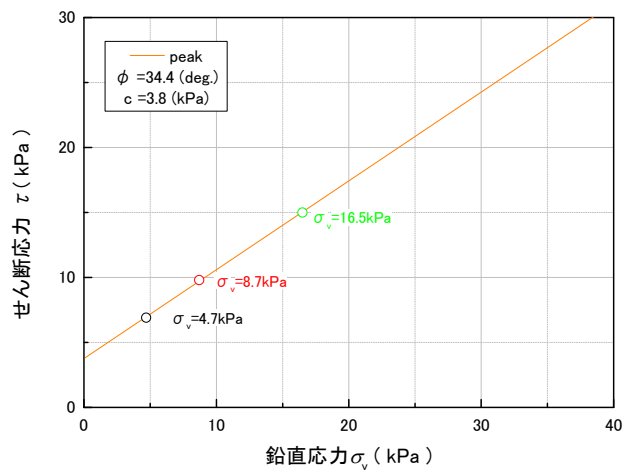
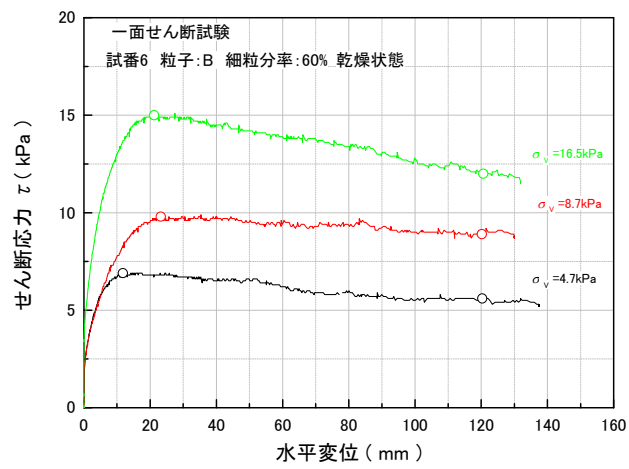


図3. 1. 4 (f) 一面せん断試験結果 試番6 粒子B 細粒分60%

### 3. 1. 3 変形強度特性

#### (1) 試験条件

三軸圧縮試験は、本工事で使用した材料の強度特性（内部摩擦角  $\phi$ 、変形係数  $E_{50}$  等）を把握するために実施した。

試験装置は、公益財団法人 鉄道総合技術研究所の所有する大型三軸試験装置を使用した。なお、本試験で作製した供試体は、材料の最大粒径を考慮し、直径  $\phi$  300 mm、高さ 600 mmの円柱供試体とした。試験装置の概要ならびに試験条件は、図3. 1. 5と表3. 1. 11にそれぞれ示すとおりである。同表に示すとおり、本工事で実施した三軸圧縮試験では、一定のひずみ速度（=0.05%/min）で単調載荷を行っており、載荷荷重、供試体の鉛直変位および側方ひずみを計測した。作業状況は、写真3. 1. 10に示すとおりである。

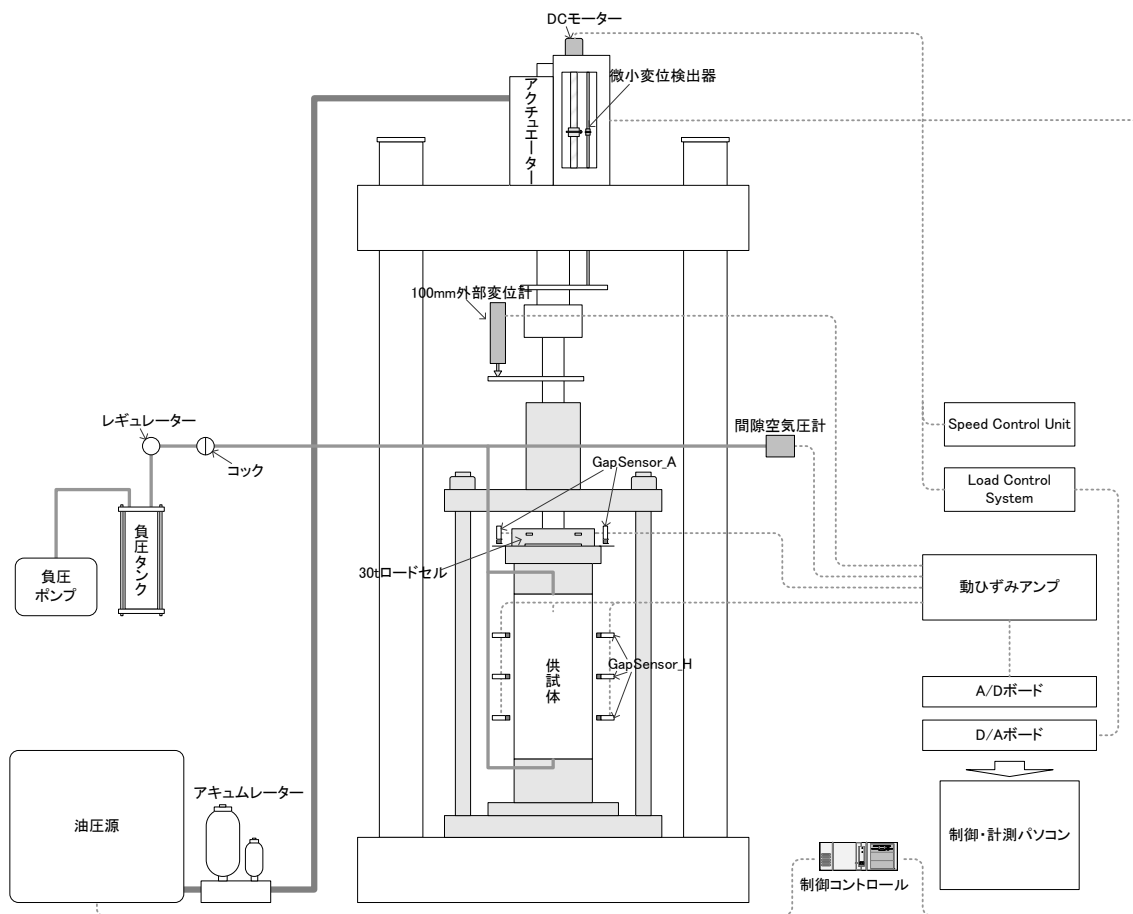


図3. 1. 5 大型三軸試験装置概要

表3. 1. 1 1 三軸圧縮試験条件一覧 (合計 18 ケース)

試 番		粒子分類	細粒分 <sup>※1</sup> 含有率 (%)	拘束圧 (kPa)	数 量
1	1-1	粒子 A 最大粒径 20 mm~30 mm	0	5	1
	1-2			10	1
	1-3			50	1
2	2-1		20	5	1
	2-2			10	1
	2-3			50	1
3	3-1		40	5	1
	3-2			10	1
	3-3			50	1
4	4-1	粒子 B 最大粒径 40 mm~80 mm	0	5	1
	4-2			10	1
	4-3			50	1
5	5-1		20	5	1
	5-2			10	1
	5-3			50	1
6	6-1		40	5	1
	6-2			10	1
	6-3			50	1

※1 細粒分には、ファインサンドと東北硅砂6号を重量比1:1で配合した材料を使用した。

※2 載荷は、ひずみ速度を0.05%/minの条件で単調載荷を行った。また、載荷前には、所定の拘束圧での圧密を行った。





(a) 粒子A 細粒分 0%      (b) 粒子A 細粒分 20%      (c) 粒子A 細粒分 40%



(d) 粒子B 細粒分 0%      (e) 粒子B 細粒分 20%      (f) 粒子B 細粒分 40%

写真3. 1. 10 (1) 供試体作製状況



写真3. 1. 10 (2) 三軸圧縮試験状況

(2) 試験結果

三軸圧縮試験結果をまとめ表 3.1.12 および 3.1.13 に示す。また、載荷時時の各測定値の関係図は、図 3.1.6 に示すとおりである。粒子 A、粒子 B ともに、細粒分率に拘わらず、粘着力は 0kPa となった。一方、内部摩擦角については、細粒分率が大きいほど小さくなる傾向はあるが、その影響はさほど大きくなく、全体的に 44.0~46.0 度程度になった。

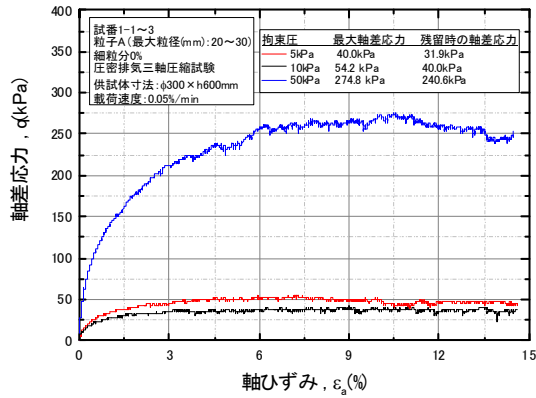
表 3. 1. 12 三軸圧縮試験結果一覧

試番	粒子	細粒分含有率 (%)	供試体作製時の乾燥密度 (g/cm <sup>3</sup> )	最大軸差応力 $q_{max}$ (kPa)	残留強度 $q_{res}$ (kPa)	変形係数 $E_{50}$ (MPa)
1-1	A	0	1.40	40.0	31.9	4.7
1-2			1.39	54.2	40.0	5.0
1-3			1.57	274.8	240.6	14.7
2-1		20	1.90	37.0	32.3	1.5
2-2			1.80	42.5	36.8	3.1
2-3			1.86	267.3	249.5	11.0
3-1		40	2.10	15.8	15.0	0.5
3-2			1.97	32.5	32.1	1.9
3-3			1.91	192.2	185.0	5.5
4-1	B	0	1.53	48.7	34.3	2.5
4-2			1.65	60.0	43.0	5.6
4-3			1.53	277.0	234.9	18.6
5-1		20	1.84	21.8	13.1	0.5
5-2			1.85	61.6	44.2	4.0
5-3			1.94	287.5	225.6	24.1
6-1		40	1.96	20.1	16.5	1.4
6-2			1.95	47.2	41.6	1.9
6-3			1.95	237.0	205.8	11.4

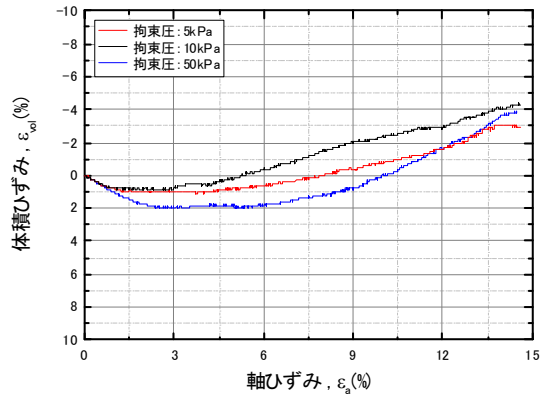
表 3. 1. 13 三軸圧縮試験結果強度定数一覧

試番	粒子	細粒分 含有率 (%)	強度定数 ピーク強度時		強度定数 残留強度時	
			内部摩擦角	粘着力	内部摩擦角	粘着力
			$\phi_{peak} (^{\circ})$	c (kpa)	$\phi_{res} (^{\circ})$	c (kPa)
1-1~3	A	0	46.7	0	44.3	0
2-1~3		20	46.2	0	44.9	0
3-1~3		40	40.9	0	40.3	0
4-1~3	B	0	47.1	0	44.1	0
5-1~3		20	47.6	0	43.4	0
6-1~3		40	44.4	0	42.0	0

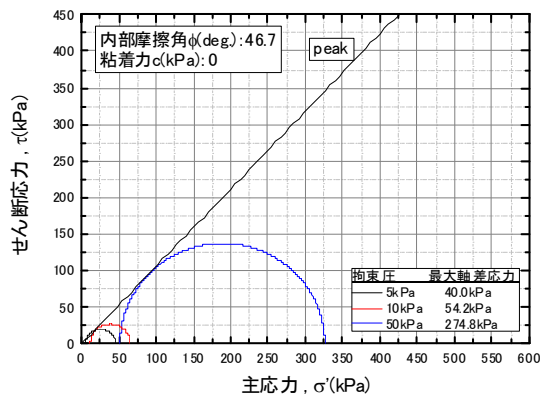
なお、内部摩擦角 $\phi$ は粘着力cを0として算出した値である。



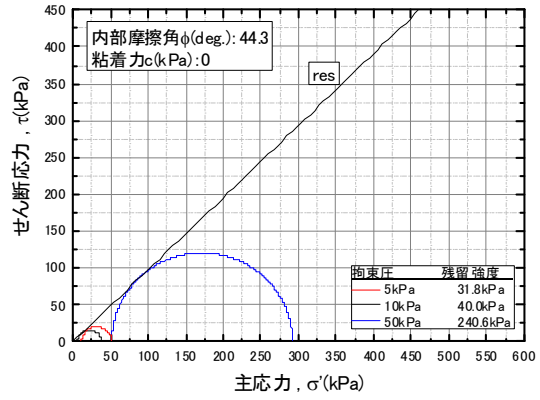
(a) 軸差応力と軸ひずみ



(b) 体積ひずみと軸ひずみ

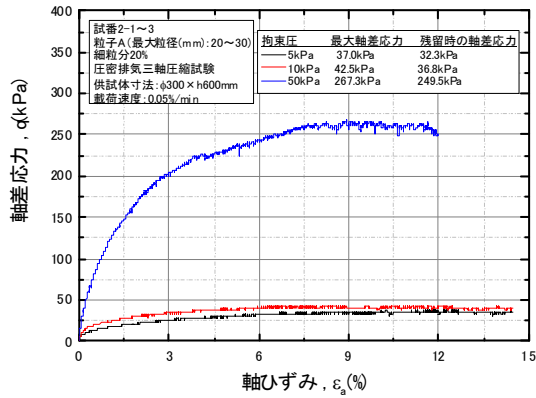


(c) 最大軸差応力時のモールの応力円

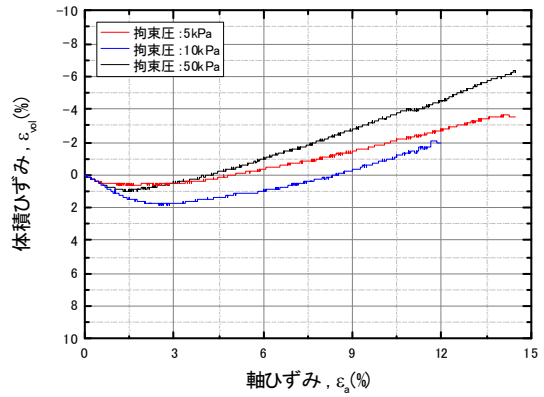


(d) 残留強度時のモールの応力円

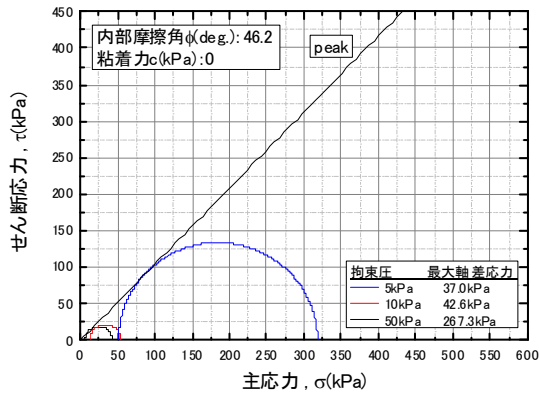
図3. 1. 6 (a) 三軸圧縮試験結果  
(粒子A 試番1-1~3 細粒分: 0%)



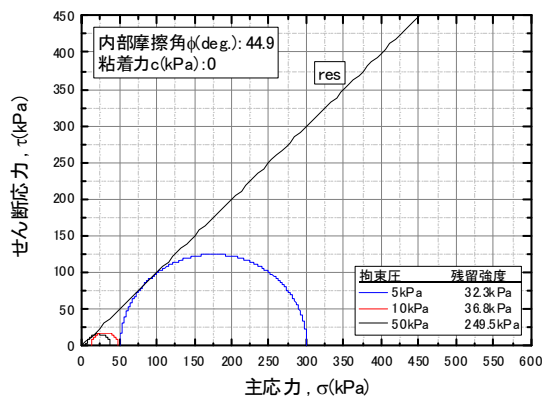
(a) 軸差応力と軸ひずみ



(b) 体積ひずみと軸ひずみ

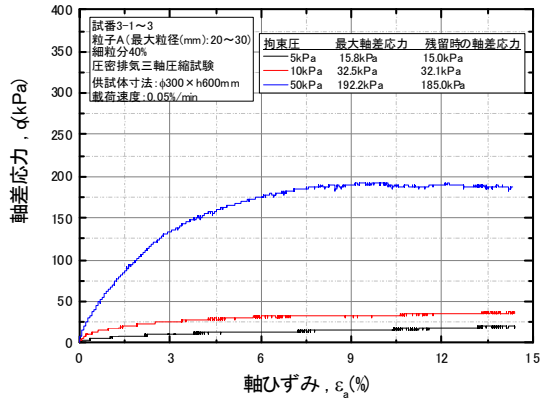


(c) 最大軸差応力時のモールの応力円

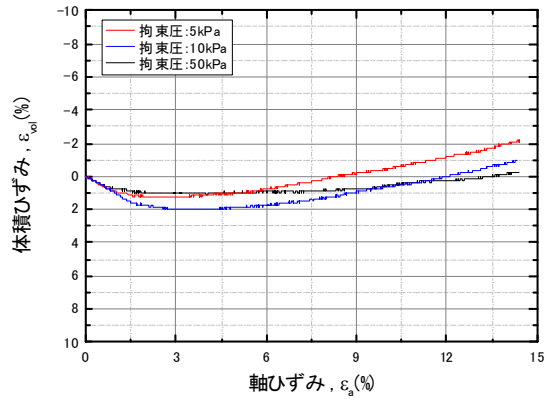


(d) 残留強度時のモールの応力円

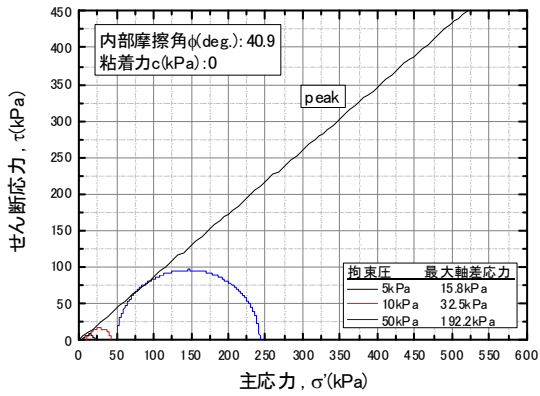
図3. 1. 6 (b) 三軸圧縮試験結果  
(粒子A 試番2-1~3 細粒分: 20%)



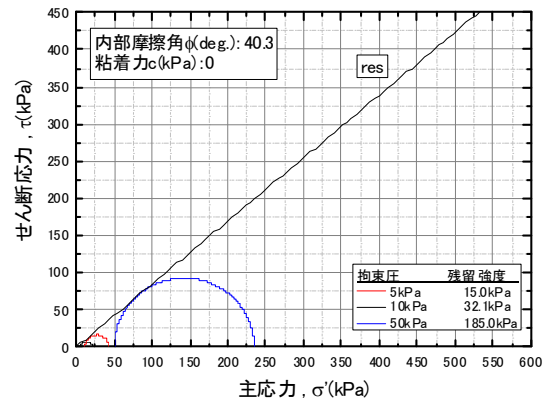
(a) 軸差応力と軸ひずみ



(b) 体積ひずみと軸ひずみ



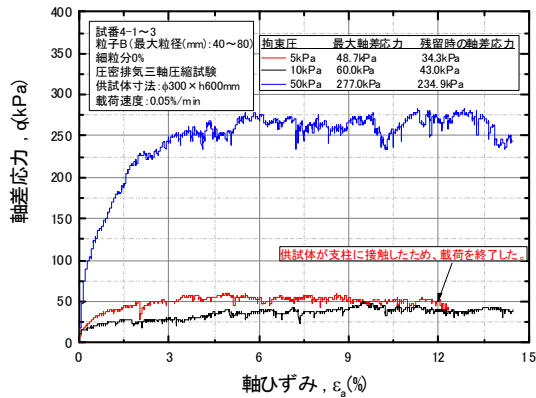
(c) 最大軸差応力時のモールの応力円



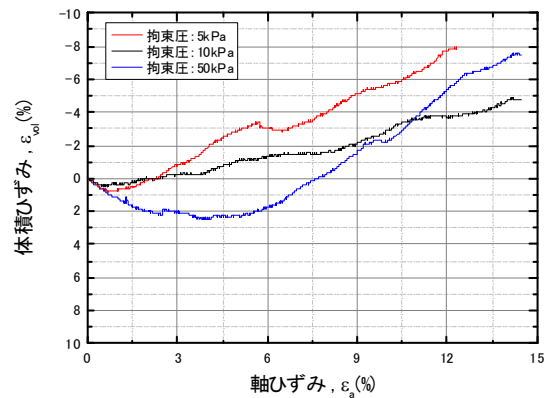
(d) 残留強度時のモールの応力円

図3. 1. 6 (c) 三軸圧縮試験結果

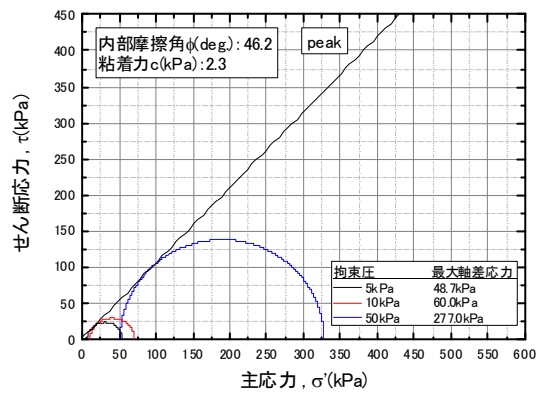
(粒子A 試番3-1~3 細粒分: 40%)



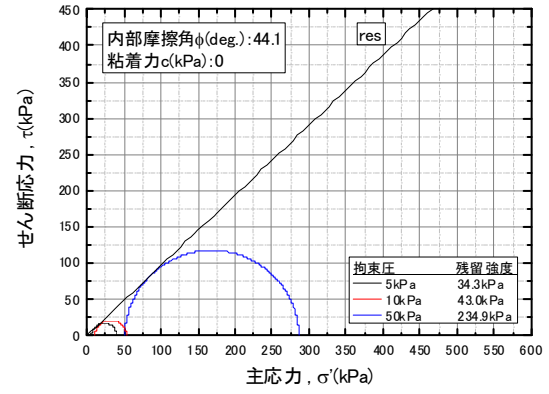
(a) 軸差応力と軸ひずみ



(b) 体積ひずみと軸ひずみ

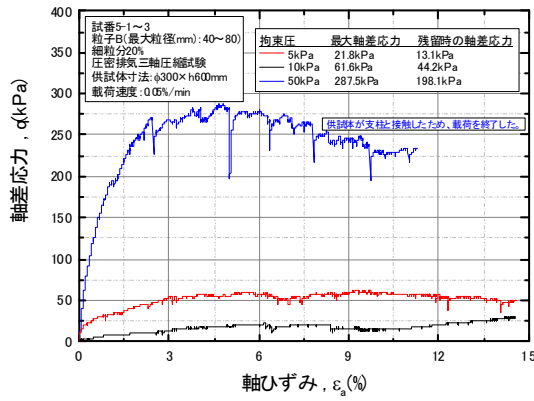


(c) 最大軸差応力時のモールの応力円

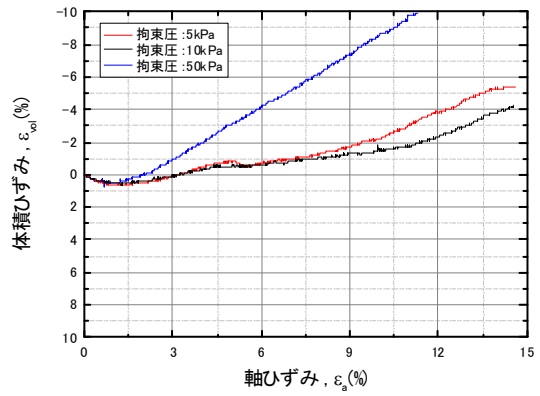


(d) 残留強度時のモールの応力円

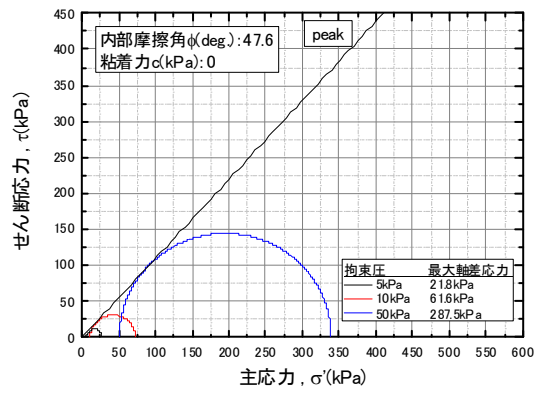
図3. 1. 6 (d) 三軸圧縮試験結果  
 (粒子B 試番4-1~3 細粒分: 0%)



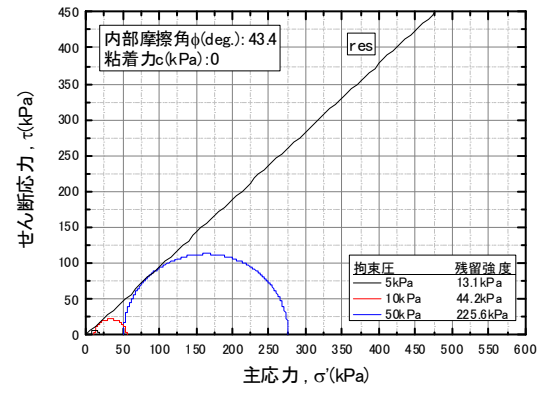
(a) 軸差応力と軸ひずみ



(b) 体積ひずみと軸ひずみ



(c) 最大軸差応力時のモールの応力円

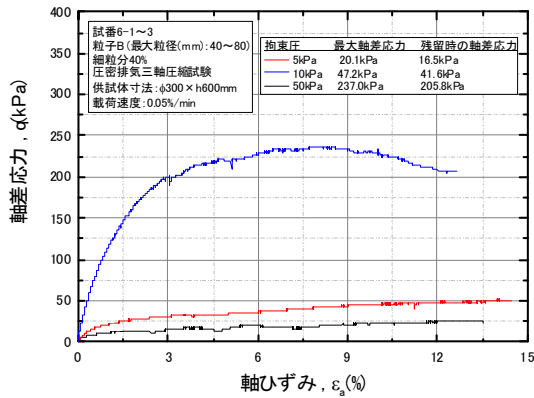


(d) 残留強度時のモールの応力円

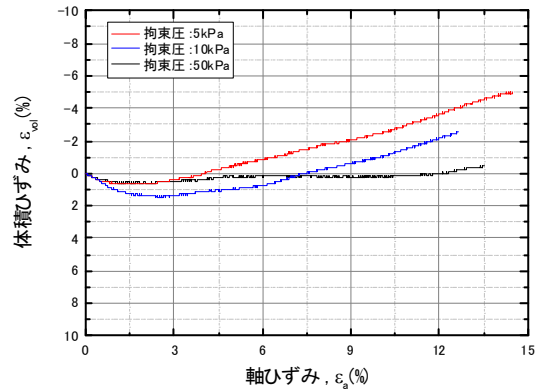
図3. 1. 6 (e) 三軸圧縮試験結果

(粒子B 試番5-1~3 細粒分: 20%)

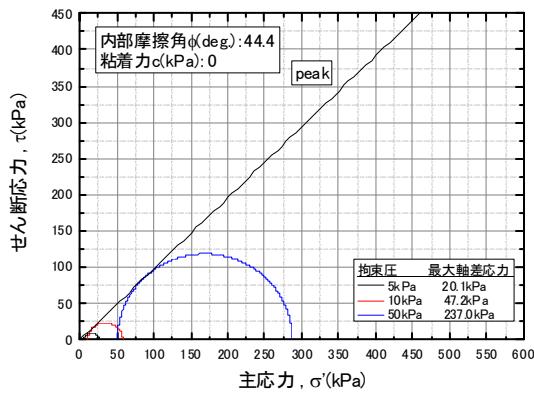




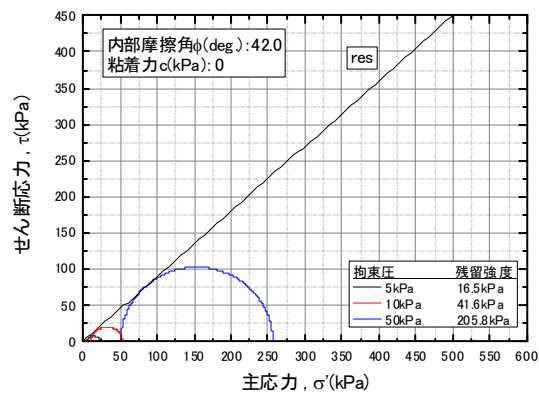
(a) 軸差応力と軸ひずみ



(b) 体積ひずみと軸ひずみ



(c) 最大軸差応力時のモールの応力円



(d) 残留強度時のモールの応力円

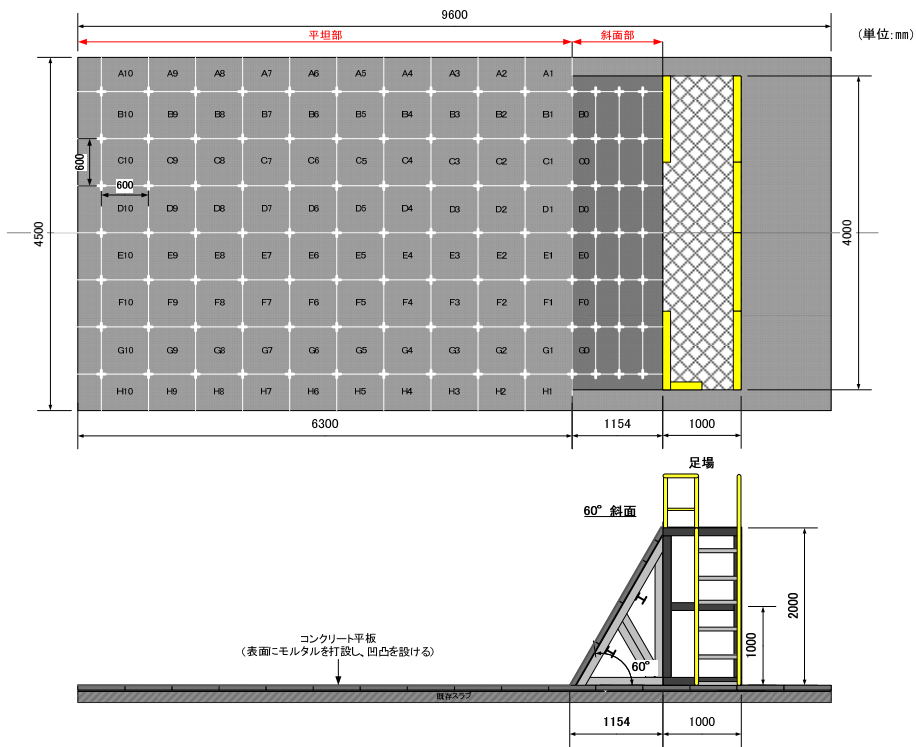
図3. 1. 6 (f) 三軸圧縮試験結果  
(粒子B 試番6-1~3 細粒分: 40%)

## 3. 2 岩塊転動試験

### 3. 2. 1 斜面模型の製作

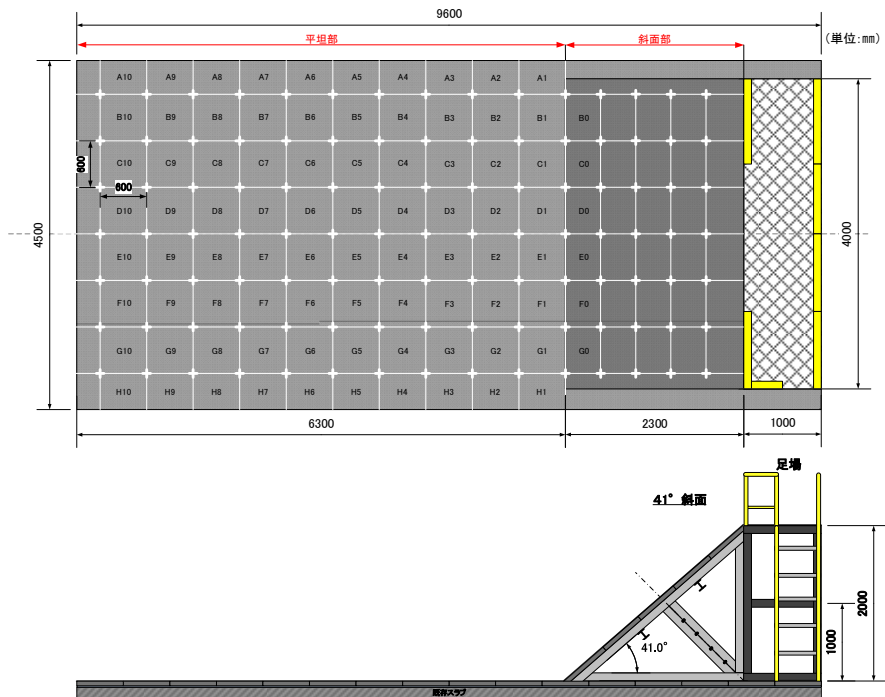
転動試験実施前に斜面模型を製作した。斜面模型は、鋼製で組立てた架台に 300 mm×600 mm×厚さ 60 mmのコンクリート板を斜面部ならびに平坦部に合計 296 枚設置した。コンクリート板表面には、斜面または平坦部の摩擦力を高めるために、黒色に着色したモルタルを打設し、箒を使用してモルタル面表面に凹凸を設けた。さらに、斜面模型作製後には、斜面部と平坦部に 600 mm×600 mmの間隔で格子枠を描画した。製作した斜面模型の概要ならびに製作状況は、図 3. 2. 1 と写真 3. 2. 1 に示すとおりである。

斜面模型製作に際しては、製作完了後に作製した斜面模型の表面モルタル強度を把握するために2パターン(試験開始時と試験終了時)の材齢でシュミットハンマー試験を行った(写真3. 2. 2)。試験結果は表 3. 2. 1 に示すとおりである。試験終了時の方が強度が大きくなった。



(a) 斜面勾配 60°

(図中の番号は、「碎石群の転動試験」の計測時に使用した。)



(b) 斜面勾配 41°

(図中の番号は、「碎石群の転動試験」の計測時に使用した。)

図 3. 2. 1 斜面模型概要



(a) フレーム組立て



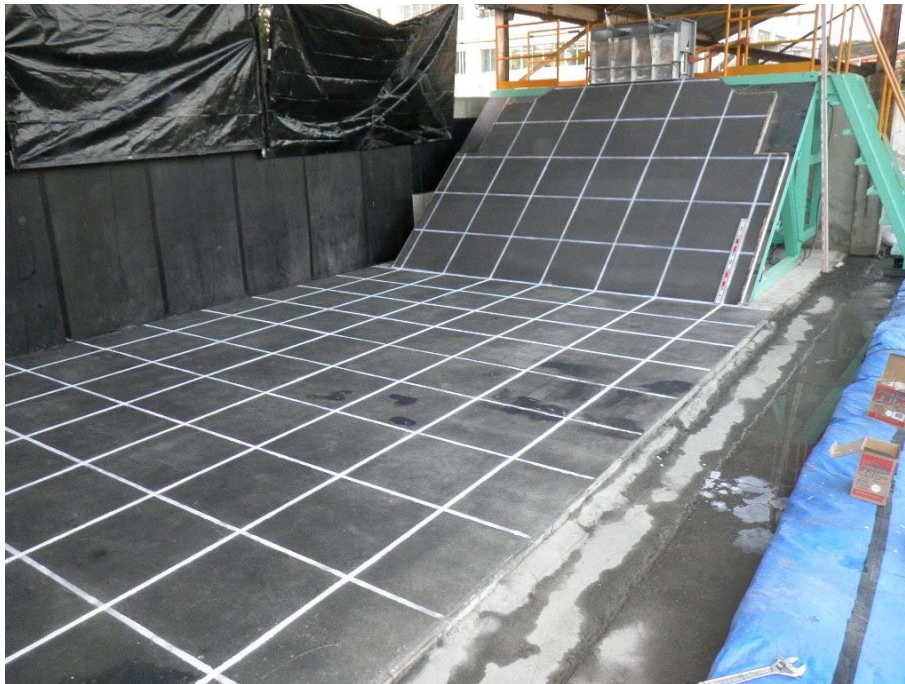
(b) 下地鉄板敷設



(c) コンクリート板敷設



(d) モルタル打設



(e) 製作完了後

写真3. 2. 1 斜面模型製作状況 (斜面勾配  $41^\circ$  )



(a) シュミットハンマー全景



(b) 斜面部



(c) 平坦部

写真3. 2. 2 シュミットハンマー試験状況

表3. 2. 1 シュミットハンマー試験結果

測定箇所：底面 測定間隔：10cm 材令：41日				測定箇所：斜面 測定間隔：60cm 材令：33日			
測定点	測定値 R	基準硬度 R <sub>0</sub>	圧縮強度 F (N/mm <sup>2</sup> )	測定点	測定値 R	基準硬度 R <sub>0</sub>	圧縮強度 F (N/mm <sup>2</sup> )
1	22.0	21.0	8.7	1	33.0	30.9	21.2
2	24.5			2	30.0		
3	20.0			3	31.0		
4	18.0			4	31.0		
5	20.0			5	35.0		
6	20.5			6	31.0		
7	19.5			7	31.0		
8	20.5			8	28.0		
9	21.5			9	28.0		
10	26.0						
11	21.0						
12	20.0						
13	18.0						
14	21.5						
15	22.0						
16	21.0						
17	21.0						
18	24.0						
19	17.5						
20	21.0						
21	22.0						
22	21.0						
23	23.0						
24	20.0						
25	18.5						
測定箇所：底面 測定間隔：10cm 材令：81日				測定箇所：斜面 測定間隔：60cm 材令：73日			
測定点	測定値 R	基準硬度 R <sub>0</sub>	圧縮強度 F (N/mm <sup>2</sup> )	測定点	測定値 R	基準硬度 R <sub>0</sub>	圧縮強度 F (N/mm <sup>2</sup> )
1	37.5	36.2	28.0	1	36.5	36.6	28.5
2	35.0			2	36.0		
3	36.0			3	34.0		
4	37.0			4	36.0		
5	38.0			5	38.0		
6	34.0			6	36.5		
7	33.0			7	36.0		
8	37.5			8	38.0		
9	35.5			9	38.0		
10	39.0						
11	34.0						
12	33.0						
13	39.0						
14	38.5						
15	41.0						
16	30.0						
17	36.5						
18	35.0						
19	38.0						
20	34.0						
21	35.5						
22	38.5						
23	34.5						
24	34.5						
25	39.5						
圧縮強度F=-18.0+1.27×R <sub>0</sub>							

### 3. 2. 2 砕石粒子の寸法計測

#### (1) 計測条件

本試験で用いた砕石粒子について寸法計測を行った。寸法計測前に最小・最大粒径が所定の粒径（粒子A：20 mm～30 mm、粒子B：40 mm～80 mm）に該当する砕石を選別し、その中から無作為にそれぞれ100個の砕石粒子を取り出した。砕石粒子の寸法計測では、取り出した砕石粒子を対象に、長辺長  $a$ 、中間長  $b$  および短辺長  $c$  をノギスで計測し、扁長率 ( $=b/a$ ) と扁平率 ( $=c/b$ ) を計測した。砕石粒子の計測位置の概念図ならびに扁長率と扁平率の結果の概要は、図 3. 2. 2 と図 3. 2. 3 にそれぞれ示すとおりである。

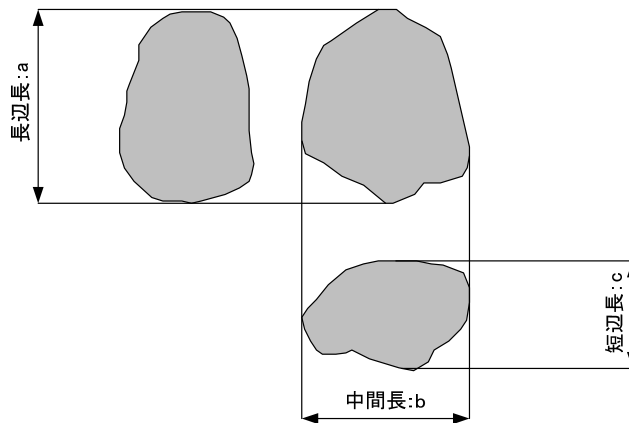


図 3. 2. 2 砕石粒子の計測位置概念図

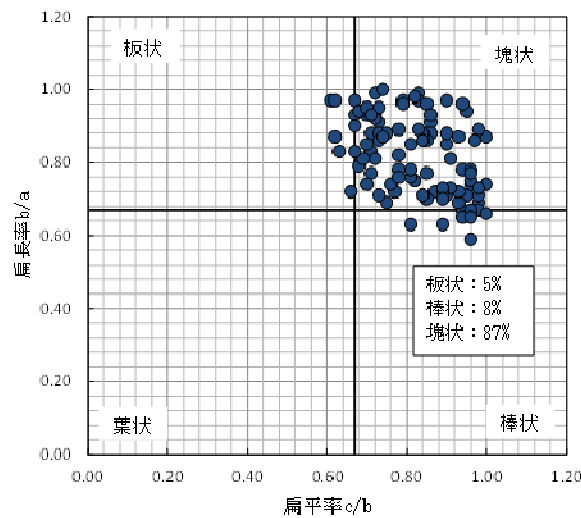


図 3. 2. 3 扁長率と扁平率の結果概要



## (2) 計測結果

表 3.2.2、表 3.2.3 に粒子Aと粒子Bの寸法計測結果をそれぞれ示す。また、図 3.2.4 に扁長率と扁平率の関係を示す。図中には、扁長率および扁平率ともに 0.67 の領域の割合も示す。粒子A、粒子Bともに8割程度であり、同等な形状分布であった。



表3. 2. 2 寸法計測データ 粒子A

A粒子 (20~30mm) 形状測定結果									
No.	寸法 (mm)			重量 (g)	No.	寸法 (mm)			重量 (g)
	長辺長 a	中間長 b	短辺長 c			長辺長 a	中間長 b	短辺長 c	
1	27	18	16	10.3	51	30	21	14	11.1
2	25	25	15	10.0	52	27	19	14	8.9
3	30	22	18	13.4	53	23	23	16	12.0
4	26	20	20	10.9	54	23	20	18	14.1
5	28	20	20	11.3	55	27	18	14	13.7
6	29	20	20	16.3	56	24	20	19	12.4
7	27	21	17	14.7	57	28	25	20	17.0
8	25	22	15	10.1	58	26	20	20	12.7
9	29	20	16	12.6	59	29	20	20	20.4
10	27	22	14	9.4	60	24	22	17	10.6
11	29	24	16	10.2	61	29	24	20	16.7
12	27	24	15	9.0	62	25	16	16	9.8
13	28	17	14	11.0	63	26	22	20	16.6
14	30	22	12	10.2	64	30	25	15	13.3
15	25	18	16	10.9	65	21	17	17	9.2
16	29	18	17	11.2	66	30	19	15	11.3
17	28	20	15	11.5	67	30	19	18	12.5
18	24	21	15	9.5	68	25	22	16	10.7
19	30	20	15	8.9	69	28	18	15	10.1
20	30	21	16	11.0	70	25	23	18	10.7
21	25	25	15	14.8	71	24	23	23	13.6
22	27	19	18	10.3	72	30	22	17	12.0
23	28	23	19	11.5	73	27	18	18	9.3
24	29	21	15	11.2	74	30	27	13	13.4
25	29	24	20	15.6	75	25	21	20	9.1
26	30	27	16	14.5	76	30	20	18	12.9
27	27	25	15	10.0	77	28	20	17	12.3
28	29	21	16	10.8	78	26	22	16	9.5
29	28	20	18	12.1	79	29	18	17	16.5
30	27	20	19	11.9	80	30	18	18	13.3
31	26	22	19	13.8	81	30	21	17	12.7
32	27	23	18	13.4	82	20	18	17	11.3
33	21	20	15	10.6	83	30	23	22	14.8
34	25	23	15	11.4	84	28	23	18	17.8
35	30	22	19	14.6	85	30	25	13	12.3
36	28	23	19	14.8	86	28	20	16	10.8
37	28	20	17	10.9	87	28	22	20	18.8
38	28	22	20	13.8	88	28	18	18	13.6
39	28	24	19	19.4	89	22	21	20	12.5
40	31	20	18	11.6	90	23	20	19	10.7
41	25	23	19	15.6	91	24	20	19	10.6
42	27	26	18	15.3	92	28	25	18	12.8
43	25	22	21	11.4	93	30	21	15	9.8
44	29	19	15	11.4	94	30	25	17	12.4
45	30	23	15	13.0	95	26	21	18	15.1
46	30	21	17	11.0	96	23	21	18	12.4
47	27	18	17	11.0	97	28	24	15	9.4
48	26	20	19	10.3	98	28	18	15	11.0
49	30	22	17	12.8	99	27	23	14	9.9
50	26	22	16	12.4	100	25	25	13	10.2
					平均	27	21	17	12.3

表3. 2. 3 寸法計測データ 粒子B

B粒子 (40~80mm) 形状測定結果									
No.	寸法 (mm)			重量 (g)	No.	寸法 (mm)			重量 (g)
	長辺長 a	中間長 b	短辺長 c			長辺長 a	中間長 b	短辺長 c	
1	78	71	52	445.5	51	82	70	49	278.7
2	75	50	47	234.0	52	68	58	47	242.7
3	71	55	47	287.2	53	80	53	51	249.2
4	82	63	45	305.7	54	72	56	54	297.7
5	72	67	48	311.9	55	75	66	48	297.1
6	70	50	45	215.9	56	60	53	40	249.5
7	78	56	43	234.7	57	78	52	50	296.7
8	85	60	57	390.7	58	68	67	48	364.1
9	71	66	44	291.8	59	68	65	55	344.0
10	76	55	48	272.6	60	76	66	66	385.2
11	63	61	55	286.6	61	78	67	57	401.1
12	78	65	46	398.8	62	76	55	49	314.0
13	80	55	51	289.4	63	70	60	44	250.3
14	80	59	59	344.8	64	82	52	42	258.0
15	81	56	55	288.8	65	67	52	42	276.3
16	75	59	40	201.5	66	77	50	47	300.5
17	64	58	50	233.6	67	78	69	58	408.8
18	78	58	44	237.0	68	70	50	49	280.7
19	77	60	47	285.8	69	68	66	40	299.0
20	78	70	47	331.2	70	78	74	54	408.2
21	67	59	51	259.5	71	77	55	40	214.5
22	81	54	53	303.5	72	70	65	56	306.0
23	74	63	57	331.3	73	78	69	62	410.5
24	81	58	54	295.6	74	67	63	43	221.2
25	70	68	54	359.5	75	70	70	52	321.8
26	78	59	46	227.5	76	77	64	43	324.9
27	72	45	40	224.9	77	71	69	43	292.4
28	75	65	48	314.4	78	67	63	60	357.0
29	77	51	49	275.0	79	75	65	40	245.5
30	80	55	41	246.7	80	75	61	44	252.1
31	71	70	58	392.5	81	82	68	43	251.5
32	83	67	46	288.5	82	68	65	61	236.3
33	65	60	43	239.8	83	69	52	50	336.5
34	61	57	40	245.3	84	61	54	45	268.9
35	72	53	51	370.8	85	79	52	52	321.2
36	73	53	48	258.4	86	75	55	49	307.5
37	80	70	50	291.0	87	75	71	50	343.5
38	76	53	45	231.2	88	67	49	48	252.2
39	79	62	58	314.2	89	61	54	53	290.3
40	71	63	49	291.3	90	73	60	47	240.7
41	73	55	45	264.3	91	82	57	51	345.0
42	62	60	50	312.0	92	70	60	58	322.2
43	82	61	43	268.8	93	78	46	44	295.8
44	78	75	59	401.1	94	66	51	49	267.3
45	78	56	37	276.2	95	78	68	50	347.3
46	75	56	46	312.9	96	70	65	46	251.0
47	82	58	49	307.1	97	64	55	46	236.8
48	75	57	46	264.6	98	57	56	46	212.2
49	77	75	50	367.6	99	68	55	50	302.7
50	62	54	50	408.9	100	80	52	50	259.9
					平均	74	60	49	296.7

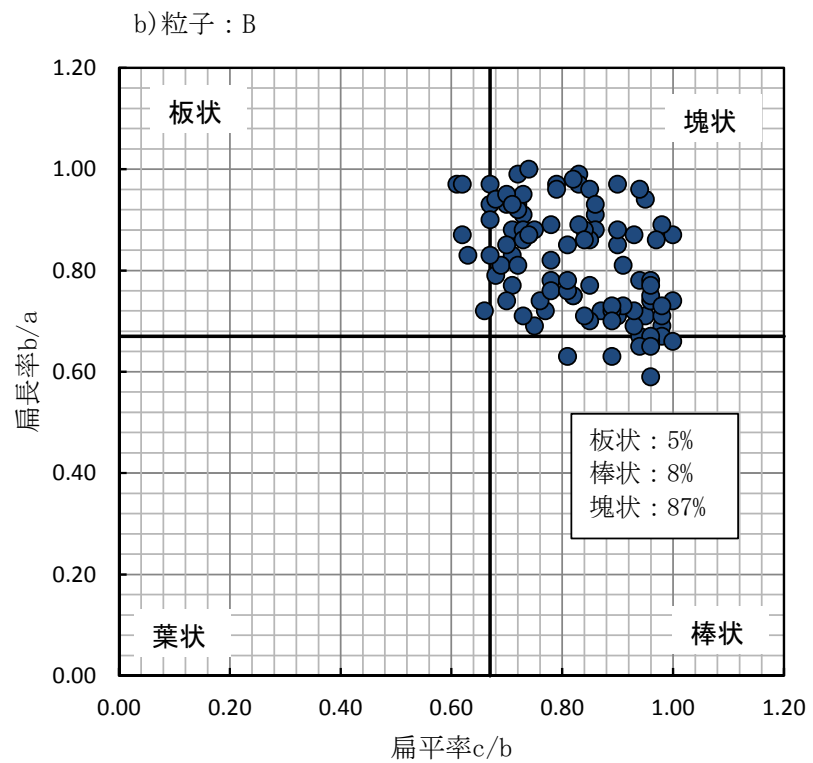
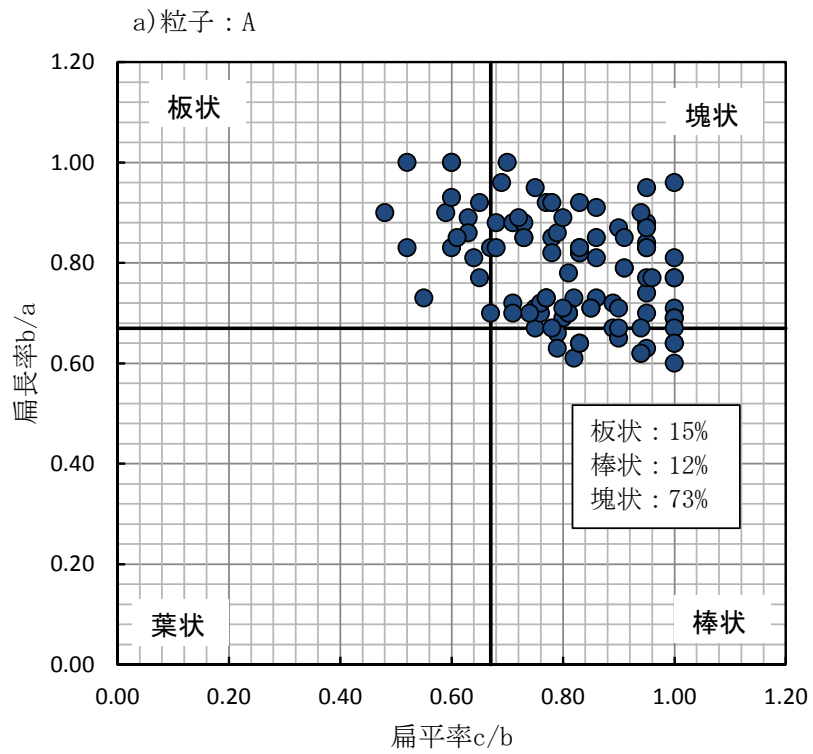


図 3. 2. 4 砕石粒子の寸法計測結果

### 3. 2. 3 粒子単体による転動試験

#### (1) 試験方法

##### ① 試験条件

砕石単体の転動試験は、岩塊単体の転動挙動を把握することを目的として、事前に形状計測を行った砕石粒子（粒子A、粒子B）を使用して実施した。砕石単体の転動試験条件は、表3.2.4に示すように、斜面勾配、砕石粒子サイズおよび落下高さをパラメータとした合計981ケースを実施した。本試験では、斜面上部の短辺方向の中心位置を基準に、砕石粒子を所定の高さから自由落下させて、斜面上での砕石粒子の転動挙動を模擬した。砕石を落下させる際は、砕石の角を下に向け落下させた（角落とし）と砕石の平面を落下させた（平落とし）の2通りの方法で行った。

転動後には、砕石粒子の静止位置を確認するため、砕石粒子の短辺方向の中心位置からの距離X（拡がり幅）と到達距離Yをメジャーにて計測するとともにデジタルカメラを使用して静止位置を記録した（図3.2.5参照）。試験結果の整理では、試験時に計測した拡がり幅Xと到達距離Yを用いてそれぞれの頻度分布を求めた。

表3. 2. 4 砕石単体の転動試験条件一覧（合計981ケース）

試番	斜面勾配	粒子サイズ	落下高さ (m)	試番数
1	41°	粒子A	2.0	226
2		粒子B	0.5	188
3			1.0	188
4			2.0	191
5	60°		2.0	188

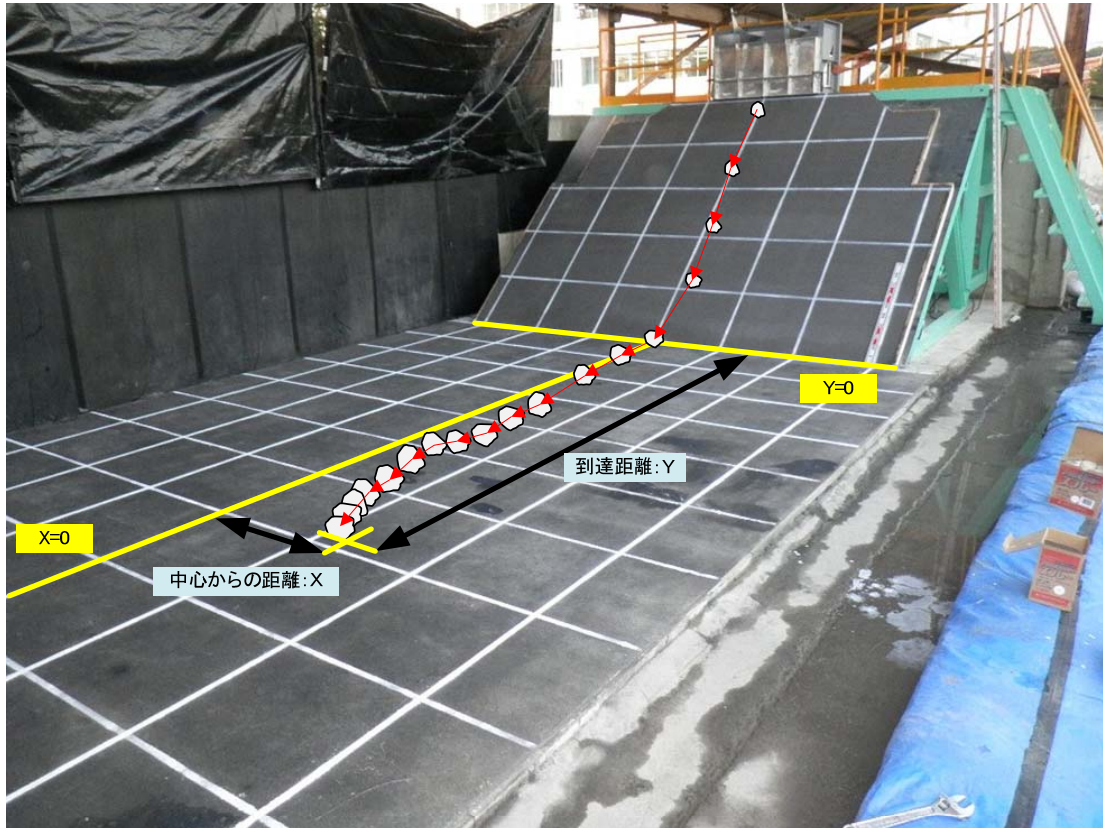


図3. 2. 5 計測内容概要 (碎石単体の転動試験)

## ②画像解析による計測

碎石単体の試験では、高速度カメラを用いた画像撮影を実施し、撮影した画像による画像解析により転がり特性、移動速度、到達距離および拡がり特性を計測した。

表 3.2.5 および表 3.2.6 に試験ケースを示す。斜面勾配と碎石のサイズを組み合わせた 5 試番に対し画像解析用の画像撮影を 200 ケース程実施した。そのうち 12 ケースについて三次元画像解析を行い、それらとは別になる 10 ケースについて角速度および転動係数を求めた。

表 3.2.5 砕石単体の転動試験におけるケース一覧 (その1)

試番	ケース	斜面勾配 (度)	砕石の種類	落下高さ (m)	試験日	撮影データの有無				保存フォルダ番号	解析の有無	備考
						撮影位置						
						正面	斜め	側面	回転角用			
1	1	41	砕石A	2	2014/11/18	○	○	○	-	070	-	
2						○	○	○	-	071	○	
3						○	○	○	-	072	-	
4						○	○	○	-	073	-	
5						○	○	○	-	074	-	
6						○	○	○	-	075	-	
7						○	○	○	-	076	-	
8						○	○	○	-	077	-	
9						○	○	○	-	078	-	
10						○	○	○	-	079	-	
11						○	○	○	-	011	-	
12						○	○	○	-	012	-	
13						○	○	○	-	013	-	
14						○	○	○	-	014	-	
15						○	○	○	-	015	-	
16						○	○	○	-	016	-	
17						○	○	○	-	017	-	
18						○	○	○	-	018	-	
19						○	○	○	-	019	-	
20						○	○	○	-	020	-	
21					○	○	○	-	021	-		
22					○	○	○	-	022	-		
23					○	○	○	-	023	-		
24					○	○	○	-	024	-		
25					○	○	○	-	025	-		
26					○	○	○	-	026	-		
27					○	○	○	-	027	-		
28					○	○	○	-	028	-		
29					○	○	○	-	029	-		
30					○	○	○	-	030	-		
31					○	○	○	-	031	-		
32					○	○	○	-	032	-		
33					○	○	○	-	033	-		
34					○	○	○	-	034	-		
35					○	○	○	-	035	-		
36					○	○	○	-	036	-		
37					○	○	○	-	037	-		
38					○	○	○	-	038	-		
39					○	○	○	-	039	-		
40					○	○	○	-	040	○		
1	2	41	砕石B	0.5	2014/11/18	○	○	○	-	028	-	
2						○	○	○	-	029	-	
3						○	○	○	-	030	-	
4						○	○	○	-	031	-	
5						○	○	○	-	032	-	
6						○	○	○	-	033	-	
7						○	○	○	-	034	-	
8						○	○	○	-	035	-	
9						○	○	○	-	036	-	
10						○	○	○	-	037	-	
11						○	○	○	-	038	-	
12						○	○	○	-	039	-	
13						○	○	○	-	040	-	
14						○	○	○	-	041	-	
15						○	○	○	-	042	-	
16						○	○	○	-	043	-	
17						○	○	○	-	044	-	
18						○	○	○	-	045	-	
19						○	○	○	-	046	-	
20						○	○	○	-	047	-	
21						○	○	○	-	048	-	
22						○	○	○	-	049	-	
23						○	○	○	-	050	-	
24						○	○	○	-	051	-	
25						○	○	○	-	052	-	
26						○	○	○	-	053	-	
27						○	○	○	-	054	○	
28						○	○	○	-	055	-	
29						○	○	○	-	056	-	
30						○	○	○	-	057	-	
31						○	○	○	-	058	○	
32						○	○	○	-	059	-	
33						○	○	○	-	060	-	
34						○	○	○	-	061	-	
35						○	○	○	-	062	-	
36						○	○	○	-	063	-	
37						○	○	○	-	064	-	
38						○	○	○	-	065	-	
39						○	○	○	-	066	-	
40						○	○	○	-	067	-	
41						○	○	○	-	068	-	
42						○	○	○	-	069	-	

表 3.2.6 砕石単体の転動試験におけるケース一覧 (その2)

試番	ケース	斜面勾配 (度)	砕石の種類	落下高さ (m)	試験日	撮影データの有無				保存フォルダ番号	解析の有無	備考
						撮影位置						
						正面	斜め	側面	回転角用			
3	41	砕石B	1	2014/11/17	○	○	○	-	011	-		
					○	○	○	-	012	-		
					○	○	○	-	013	-		
					○	○	○	-	014	-		
					○	○	○	-	015	-		
					○	○	○	-	016	-		
					○	○	○	-	017	-		
					○	○	○	-	018	-		
					○	○	○	-	019	-		
					○	○	○	-	020	-		
					○	○	○	-	021	-		
					○	○	○	-	022	-		
					○	○	○	-	023	-		
					○	○	○	-	024	-		
					○	○	○	-	025	-		
					○	○	○	-	026	○		
					○	○	○	-	027	-		
					○	○	○	-	028	-		
					○	○	○	-	029	-		
					○	○	○	-	030	-		
					○	○	○	-	031	-		
				○	○	○	-	032	-			
				○	○	○	-	033	-			
				○	○	○	-	034	-			
				○	○	○	-	035	-			
				○	○	○	-	011	-			
				○	○	○	-	012	-			
				○	○	○	-	013	-			
				○	○	○	-	014	-			
				○	○	○	-	015	-			
				○	○	○	-	016	-			
				○	○	○	-	017	-			
				○	○	○	-	018	-			
				○	○	○	-	019	○			
				○	○	○	-	020	-			
				○	○	○	-	021	-			
				○	○	○	-	022	-			
				○	○	○	-	023	-			
				○	○	○	-	024	-			
				○	○	○	-	025	-			
				○	○	○	-	026	-			
				○	○	○	-	027	-			
○	○	○	-	011	-							
○	○	○	-	012	-							
○	○	○	-	013	-							
○	○	○	-	014	-							
○	○	○	-	015	-							
○	○	○	-	016	-							
○	○	○	-	017	-							
○	○	○	-	018	-							
○	○	○	-	019	-							
○	○	○	-	020	-							
○	○	○	-	021	-							
○	○	○	-	022	-							
○	○	○	-	023	-							
○	○	○	-	024	-							
○	○	○	-	025	-							
○	○	○	-	026	-							
○	○	○	-	027	-							
4	41	砕石B	2	2014/11/14	○	○	○	-	011	-		
					○	○	○	-	012	-		
					○	○	○	-	013	-		
					○	○	○	-	014	-		
					○	○	○	-	015	-		
					○	○	○	-	016	-		
					○	○	○	-	017	-		
					○	○	○	-	018	-		
					○	○	○	-	019	-		
					○	○	○	-	020	-		
					○	○	○	-	021	○		
					○	○	○	-	022	-		
					○	○	○	-	023	-		
					○	○	○	-	024	-		
					○	○	○	-	025	-		
					○	○	○	-	026	○		
					○	○	○	-	027	-		
					○	○	○	-	028	-		
					○	○	○	-	029	-		
					○	○	○	-	030	-		
					○	○	○	-	031	-		
				○	○	○	-	032	-			
				○	○	○	-	033	○			
				○	○	○	-	034	-			
				○	○	○	-	035	-			
				○	○	○	-	036	-			
				○	○	○	-	037	○			
				○	○	○	-	038	-			
				○	○	○	-	039	-			
				○	○	○	-	040	-			
				○	○	○	-	041	-			
				○	○	○	-	042	-			
				○	○	○	-	043	-			
				○	○	○	-	044	-			
				○	○	○	-	045	-			
				○	○	○	-	046	-			
				○	○	○	-	047	-			
				○	○	○	-	001	-			
				○	○	○	-	002	-			
				○	○	○	-	003	-			
				○	○	○	-	004	-			
				○	○	○	-	005	-			
○	○	○	-	006	-							
○	○	○	-	007	-							
○	○	○	-	011	-							
○	○	○	-	012	-							
○	○	○	-	013	-							
○	○	○	-	014	-							
○	○	○	-	015	○							
○	○	○	-	016	-							
○	○	○	-	017	-							
○	○	○	-	018	-							
○	○	○	-	019	-							
○	○	○	-	020	-							
○	○	○	-	021	-							
○	○	○	-	022	-							
○	○	○	-	023	-							
○	○	○	-	024	-							
○	○	○	-	025	-							
○	○	○	-	026	-							
○	○	○	-	027	-							
○	○	○	-	028	-							
○	○	○	-	029	-							
○	○	○	-	030	-							
○	○	○	-	031	-							
○	○	○	-	032	-							
○	○	○	-	033	-							
○	○	○	-	034	-							
○	○	○	-	035	-							
○	○	○	-	036	-							
○	○	○	-	037	-							
○	○	○	-	038	-							
○	○	○	-	039	-							
○	○	○	-	040	-							
○	○	○	-	041	-							
○	○	○	-	042	○							
○	○	○	-	043	-							
○	○	○	-	044	-							
○	○	○	-	045	-							
○	○	○	-	002	-							
○	○	○	-	003	-							
○	○	○	-	004	-							
5	60	砕石B	2	2014/12/22	○	○	○	-	005	-		
					○	○	○	-	006	-		
					○	○	○	-	007	-		
					○	○	○	-	011	-		
					○	○	○	-	012	-		
					○	○	○	-	013	-		
					○	○	○	-	014	-		
					○	○	○	-	015	○		
					○	○	○	-	016	-		
					○	○	○	-	017	-		
					○	○	○	-	018	-		
					○	○	○	-	019	-		
					○	○	○	-	020	-		
					○	○	○	-	021	-		
					○	○	○	-	022	-		
					○	○	○	-	023	-		
					○	○	○	-	024	-		
					○	○	○	-	025	-		
					○	○	○	-	026	-		
					○	○	○	-	027	-		
					○	○	○	-	028	-		
				○	○	○	-	029	-			
				○	○	○	-	030	-			
				○	○	○	-	031	-			
				○	○	○	-	032	-			
				○	○	○	-	033	-			
				○	○	○	-	034	-			
				○	○	○	-	035	-			
				○	○	○	-	036	-			
				○	○	○	-	037	-			
				○	○	○	-	038	-			
				○	○	○	-	039	-			
				○	○	○	-	040	-			
				○	○	○	-	041	-			
				○	○	○	-	042	○			
				○	○	○	-	043	-			
				○	○	○	-	044	-			
				○	○	○	-	045	-			
				○	○	○	-	002	-			
				○	○	○	-	003	-			
				○	○	○	-	004	-			
				○	○	○	-	004	-			
○	○	○	-	004	-							

図 3.2.6 にカメラの設置状況のイメージを図 3.2.7～図 3.2.9 に試験状況を示す。高速度カメラを 4 台使用し、うち 3 台(流路に向かって、それぞれ正面、斜め、側面の位置に設置)で三次元撮影を行い、碎石の立体撮影画像を取得し、そのデータを用いて画像解析を実施した。もう 1 台は斜面と平坦部との境界部通過時における、碎石の角速度および転動係数を求めるために撮影し、その境界部側面に設置した。なお、撮影周波数を 150fps に設定し撮影を行った。

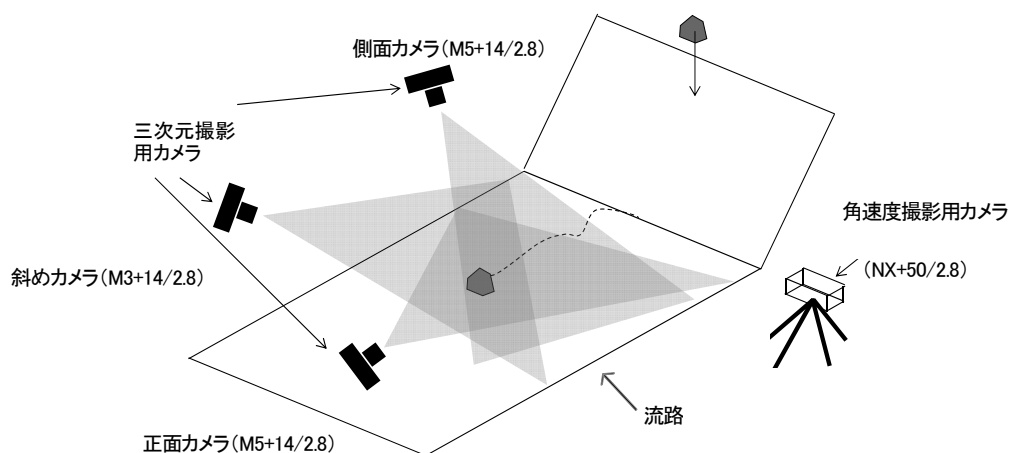


図 3.2.6 碎石単体の転動試験におけるカメラの設置状況イメージ



図 3.2.7 側面および斜め位置のカメラ設置状況





図 3.2.8 正面位置のカメラ設置状況



図 3.2.9 角速度撮影用カメラ設置状況

画像解析による計測は、前述した PTV (Particle Tracking Velocimetry) 法を用いた。三次元解析では碎石そのものを標点とみなして追跡し、碎石の速度および位置を求めた。なお三次元画像解析には解析ソフトウェア (Move-Tr/3D) を用いた。角速度および転動係数については、二次元画像解析ソフトウェア (ViewPoint) を用いて解析を行った。

碎石単体の転動試験については、画像解析によって得られた変位時刻歴を元に以下の項目について整理を行った。解析ソフトウェア (Move-Tr/3D) で使用した画像ファイル等の画像解析詳細を表 3.2.7 に示す。

- ・ 碎石の軌跡履歴

画像解析の結果得られた変位時刻歴データより作成した。

- ・ 碎石の速度履歴

画像解析の結果得られた変位時刻歴データを撮影周波数で除することにより速度を求めた。なお、上記速度は、x 方向 (流路長手方向)、y 方向 (高さ方向)、z 方向 (流路短手方向) の 3 成分を算出した。

- ・ 碎石の速度一覧

上記より得られた速度履歴から、傾斜部の中間地点、傾斜部と平坦部との境界部、傾斜部と平坦部との境界部から長手方向 2m (2m まで到達してしない場合は、最大到達距離の半分の位置) の 3 点を通過した際のそれぞれの速度を抽出し一覧を作成した。なお、上記速度は、x 方向 (流路長手方向)、y 方向 (高さ方向)、z 方向 (流路短手方向) の 3 成分を算出した。

- ・ 岩塊の角速度一覧

岩塊に複数マーキングした標点相互の変位時刻歴を元に回転角を求め、移動速度で除することにより各速度を求めた。

- ・ 岩塊の転動係数一覧

上記にて求めた角速度を用い式(3)により求めた。

$$Cr = \frac{\omega r}{v} \quad (3)$$

ここで、Cr : 転動係数

$\omega$  : 角速度

$r$  : 岩塊の半径

$v$  : 衝突面に平行な速度

表 3.2.7 画像解析詳細

試番	ケース	斜面勾配(度)	粒子サイズ	落下高さ(m)	落下種別	撮影日	石番号	フォルダ番号	使用画像開始ファイル	使用画像終了ファイル	空間キャリブレーションファイル
1	2	41	粒子A	2	角落し	11月18日	2	071	ImgA000070	ImgA000588	1118_3Dキャリブ.clb
	平落し				11月19日	21	040	ImgA000082	ImgA000550	1119_3Dキャリブ.clb	
2	27		0.5	平落し	11月18日	23	054	ImgA000083	ImgA000450	1118_3Dキャリブ.clb	
	31			平落し	11月18日	44	058	ImgA000084	ImgA000598	1118_3Dキャリブ.clb	
3	16		1	角落し	11月17日	73	026	ImgA000156	ImgA000744	1117_3Dキャリブ.clb	
	34			平落し	11月18日	58	019	ImgA000070	ImgA000670	1118_3Dキャリブ.clb	
4	11		粒子B	2	角落し	11月14日	44	021	ImgA000083	ImgA000742	1114_3Dキャリブ.clb
	16				角落し	11月14日	70	026	ImgA000070	ImgA000650	1114_3Dキャリブ.clb
	23				角落し	11月14日	8	033	ImgA000114	ImgA000595	1114_3Dキャリブ.clb
	27				平落し	11月14日	20	037	ImgA000113	ImgA000553	1114_3Dキャリブ.clb
5	10		60	2	角落し	12月22日	56	015	ImgA000092	ImgA000540	1222_3Dキャリブ.clb
	37				平落し	12月22日	83	042	084	535	1222_3Dキャリブ.clb

## (2) 試験結果

### ① 到達距離と拡がり幅の頻度分布

砕石単体の転動試験で計測された到達距離 $Y$ および拡がり幅 $X$ の値をまとめ表 3.2.8 に示す。  
また、各試番の頻度分布は、図 3.2.10 に示すとおりである。

表3. 2. 8(a) 砕石粒子単体の転動試験結果一覧 試番1

転動実験データシート														平成 26 年 11 月 7、12 日			
試番 : 1																	
粒子:A(20~30mm) 落下高さ : 2.0m 勾配 : 41度														落下種別 : 角 落 し : 1-1~1-93 平 落 し : 1-94~1-186			
距離単位 : mm																	
試番	石番号	距離Y	距離X	試番	石番号	距離Y	距離X	試番	石番号	距離Y	距離X	試番	石番号	距離Y	距離X		
1-1	1	985	-825	1-50	51	1285	280	1-94	1	1390	-875	1-143	51	1980	280		
1-2	2	2295	1040	1-51	52	1765	-275	1-95	2	3055	-755	1-144	52	3345	655		
1-3	3	1860	1070	1-52	56	2730	685	1-96	3	1010	-355	1-145	56	2865	-625		
1-4	4	2280	790	1-53	57	3405	1195	1-97	4	925	-120	1-146	57	800	455		
1-5	5	2325	125	1-54	59	2650	-380	1-98	5	1190	875	1-147	59	1105	-910		
1-6	6	2375	-735	1-55	60	3190	-160	1-99	6	2260	1640	1-148	60	2240	1305		
1-7	7	1920	-40	1-56	61	1790	-230	1-100	7	3400	100	1-149	61	2640	625		
1-8	8	2270	230	1-57	62	2260	-225	1-101	8	1970	450	1-150	62	985	-45		
1-9	9	2345	700	1-58	63	1835	-330	1-102	9	3465	1220	1-151	63	1505	-1770		
1-10	11	3835	1330	1-59	64	2550	160	1-103	11	3330	-585	1-152	64	1690	710		
1-11	12	1675	-925	1-60	65	1850	-195	1-104	12	1270	-700	1-153	65	1690	-245		
1-12	13	2305	-235	1-61	66	2195	-1235	1-105	13	2740	600	1-154	66	2205	-1050		
1-13	14	1230	170	1-62	67	295	-315	1-106	14	1090	-340	1-155	67	1725	25		
1-14	15	595	-145	1-63	68	4320	1575	1-107	15	1820	-50	1-156	68	2260	-1005		
1-15	16	1400	855	1-64	69	1040	-40	1-108	16	1415	-690	1-157	69	955	265		
1-16	17	1240	-565	1-65	70	970	335	1-109	17	660	225	1-158	70	2150	445		
1-17	18	1750	-20	1-66	71	2230	890	1-110	18	1975	240	1-159	71	1675	-1325		
1-18	19	1645	160	1-67	72	1480	-155	1-111	19	940	335	1-160	72	1485	160		
1-19	20	1435	255	1-68	73	1860	-315	1-112	20	1215	245	1-161	73	2025	680		
1-20	21	1060	-955	1-69	74	745	740	1-113	21	4880	660	1-162	74	1230	-135		
1-21	22	2700	-920	1-70	75	1115	-270	1-114	22	2050	290	1-163	75	1475	-240		
1-22	23	1275	495	1-71	76	770	1485	1-115	23	590	1230	1-164	76	3390	-105		
1-23	24	1400	1230	1-72	77	3335	125	1-116	24	2180	-240	1-165	77	1180	-610		
1-24	25	2170	575	1-73	78	1650	155	1-117	25	3525	-1885	1-166	78	1000	-325		
1-25	26	1060	890	1-74	79	2340	-460	1-118	26	1965	-380	1-167	79	3700	450		
1-26	27	2940	-85	1-75	81	420	865	1-119	27	1935	-410	1-168	81	1500	35		
1-27	28	650	-330	1-76	82	2650	-1110	1-120	28	1320	-270	1-169	82	2505	1010		
1-28	29	1725	-540	1-77	83	1940	-45	1-121	29	1640	295	1-170	83	315	-100		
1-29	30	2120	205	1-78	84	1965	-270	1-122	30	1640	110	1-171	84	1660	1470		
1-30	31	2430	-365	1-79	85	1510	1480	1-123	31	3265	995	1-172	85	3140	500		
1-31	32	2215	-315	1-80	86	1115	-745	1-124	32	1265	-440	1-173	86	1125	460		
1-32	33	1860	-305	1-81	87	2335	-370	1-125	33	1365	-100	1-174	87	910	390		
1-33	34	1210	55	1-82	88	2880	-215	1-126	34	1335	-445	1-175	88	3195	125		
1-34	35	3035	795	1-83	89	2885	-545	1-127	35	3140	1010	1-176	89	1780	-265		
1-35	36	3360	20	1-84	90	2195	250	1-128	36	1160	-275	1-177	90	855	175		
1-36	37	2025	40	1-85	91	3300	300	1-129	37	1630	-100	1-178	91	2990	-645		
1-37	38	1760	70	1-86	92	870	-35	1-130	38	1065	-400	1-179	92	2910	320		
1-38	39	1320	150	1-87	93	2045	-25	1-131	39	1365	-175	1-180	93	1560	160		
1-39	40	1310	-50	1-88	94	3190	110	1-132	40	1535	-460	1-181	94	4330	205		
1-40	41	4435	935	1-89	95	1995	885	1-133	41	3605	560	1-182	95	810	255		
1-41	42	1530	-190	1-90	96	1195	615	1-134	42	3000	-1025	1-183	96	2600	-1030		
1-42	43	1680	-1365	1-91	97	3065	-750	1-135	43	1295	-350	1-184	97	725	50		
1-43	44	1060	240	1-92	99	2625	670	1-136	44	1130	-125	1-185	99	535	-525		
1-44	45	3200	325	1-93	100	3150	640	1-137	45	1785	545	1-186	100	4320	-265		
1-45	46	1535	-290					1-138	46	1390	140						
1-46	47	2145	1080					1-139	47	1400	-345						
1-47	48	1065	765					1-140	48	2230	-65						
1-48	49	950	1645					1-141	49	495	440						
1-49	50	1270	-245					1-142	50	2985	1145						
転動実験データシート														平成 26 年 11 月 18、19 日(画像撮影)			
試番 : 1																	
粒子:A(20~30mm) 落下高さ : 2.0m 勾配 : 41度														落下種別 : 角 落 し : 1-187~1-206 平 落 し : 1-207~1-226			
距離単位 : mm																	
試番	石番号	距離Y	距離X	試番	石番号	距離Y	距離X	試番	石番号	距離Y	距離X	試番	石番号	距離Y	距離X		
1-187	1	1900	680	1-197	12	1270	200	1-207	1	1095	-160	1-217	12	785	-260		
1-188	2	2450	2075	1-198	13	630	-130	1-208	2	2095	860	1-218	13	890	-905		
1-189	3	1830	-1345	1-199	14	1545	-1400	1-209	3	1920	-565	1-219	14	1115	115		
1-190	4	2610	1125	1-200	15	1765	-260	1-210	4	2920	-640	1-220	15	705	370		
1-191	5	2620	-460	1-201	16	1715	-985	1-211	5	3050	980	1-221	16	2520	-165		
1-192	6	2850	490	1-202	17	855	485	1-212	6	1805	340	1-222	17	1415	-1310		
1-193	7	2000	285	1-203	18	1085	-340	1-213	7	1270	-115	1-223	18	670	150		
1-194	8	3360	1240	1-204	19	1755	575	1-214	8	2945	-845	1-224	19	915	355		
1-195	9	1140	-105	1-205	20	1735	65	1-215	9	2595	140	1-225	20	1515	75		
1-196	11	710	325	1-206	21	2205	1620	1-216	11	2790	2075	1-226	21	3915	810		

表3. 2. 8(b) 砕石粒子単体の転動試験結果一覧 試番2

転動実験データシート								平成 26 年 11 月 6、7 日							
試番 : 2															
粒子 : B(40~80mm)				落下高さ : 0.5m		勾配 : 41度		落下種別 : 角落し : 2-1~2-73				平落し : 2-74~2-146			
距離単位 : mm															
試番	石番号	距離Y	距離X	試番	石番号	距離Y	距離X	試番	石番号	距離Y	距離X	試番	石番号	距離Y	距離X
2-1	2	1090	-210	2-35	51	920	305	2-74	2	705	-180	2-108	51	1250	-70
2-2	4	205	95	2-36	52	310	-110	2-75	4	890	390	2-109	52	530	190
2-3	5	410	320	2-37	53	315	-165	2-76	5	900	1025	2-110	53	645	285
2-4	6	250	-170	2-38	55	830	-75	2-77	6	805	-55	2-111	55	1610	505
2-5	7	405	-145	2-39	57	335	115	2-78	7	810	160	2-112	57	805	55
2-6	9	475	-105	2-40	59	645	-160	2-79	9	210	-60	2-113	59	800	-40
2-7	11	159	-425	2-41	61	805	-75	2-80	11	1010	45	2-114	61	740	-145
2-8	13	755	-195	2-42	62	1215	-260	2-81	13	270	110	2-115	62	1070	-140
2-9	16	265	115	2-43	63	725	270	2-82	16	185	-85	2-116	63	140	-90
2-10	17	965	-650	2-44	64	475	-285	2-83	17	1335	-705	2-117	64	465	-200
2-11	18	1215	-130	2-45	65	1175	-125	2-84	18	515	-150	2-118	65	595	-475
2-12	19	350	-100	2-46	66	1020	360	2-85	19	700	55	2-119	66	500	55
2-13	21	645	-105	2-47	67	760	65	2-86	21	775	-315	2-120	67	350	45
2-14	22	340	-90	2-48	68	995	-465	2-87	22	805	475	2-121	68	905	205
2-15	25	1260	-295	2-49	69	240	-250	2-88	25	1060	-130	2-122	69	450	-335
2-16	26	650	-595	2-50	71	460	-70	2-89	26	305	115	2-123	71	385	260
2-17	27	860	-385	2-51	72	520	-85	2-90	27	705	-260	2-124	72	660	-165
2-18	28	255	105	2-52	74	1785	-265	2-91	28	240	-40	2-125	74	365	255
2-19	29	735	375	2-53	75	635	380	2-92	29	895	260	2-126	75	295	-160
2-20	30	505	-200	2-54	76	315	-105	2-93	30	150	100	2-127	76	345	65
2-21	33	725	-40	2-55	77	370	400	2-94	33	380	180	2-128	77	475	-365
2-22	34	820	195	2-56	79	1035	-65	2-95	34	280	45	2-129	79	845	180
2-23	36	735	225	2-57	80	305	40	2-96	36	525	-370	2-130	80	665	70
2-24	37	885	-135	2-58	81	610	160	2-97	37	910	-110	2-131	81	390	-150
2-25	38	460	260	2-59	82	705	-190	2-98	38	660	355	2-132	82	625	345
2-26	39	520	175	2-60	84	1005	280	2-99	39	1290	545	2-133	84	670	165
2-27	40	870	-50	2-61	85	660	250	2-100	40	1350	85	2-134	85	650	-130
2-28	41	1340	210	2-62	87	655	-245	2-101	41	320	160	2-135	87	855	390
2-29	42	975	-105	2-63	88	280	-170	2-102	42	315	-145	2-136	88	880	290
2-30	43	565	60	2-64	90	735	110	2-103	43	315	-35	2-137	90	325	130
2-31	45	520	205	2-65	91	660	370	2-104	45	230	70	2-138	91	680	95
2-32	46	1030	-75	2-66	92	875	225	2-105	46	950	270	2-139	92	820	375
2-33	48	625	-90	2-67	93	370	-160	2-106	48	480	185	2-140	93	745	-235
2-34	49	1415	485	2-68	94	1310	-60	2-107	49	720	-45	2-141	94	635	-310
				2-69	96	925	190					2-142	96	910	315
				2-70	97	920	-305					2-143	97	1310	-200
				2-71	98	610	-55					2-144	98	435	145
				2-72	99	365	-65					2-145	99	680	115
				2-73	100	660	-270					2-146	100	195	-50
転動実験データシート								平成 26 年 11 月 18 日(画像撮影)							
試番 : 2															
粒子 : B(40~80mm)				落下高さ : 0.5m		勾配 : 41度		落下種別 : 角落し : 2-147~2-167				平落し : 2-168~2-188			
距離単位 : mm															
試番	石番号	距離Y	距離X	試番	石番号	距離Y	距離X	試番	石番号	距離Y	距離X	試番	石番号	距離Y	距離X
2-147	8	850	330	2-158	56	1290	-195	2-168	8	790	-375	2-179	56	555	-140
2-148	10	935	45	2-159	58	1790	-55	2-169	10	680	-205	2-180	58	945	105
2-149	12	775	280	2-160	60	915	265	2-170	12	550	-160	2-181	60	1030	40
2-150	14	625	140	2-161	70	450	300	2-171	14	855	-165	2-182	70	500	-200
2-151	20	865	-345	2-162	73	2125	-150	2-172	20	445	40	2-183	73	830	-375
2-152	23	1140	350	2-163	78	1060	-100	2-173	23	1690	-500	2-184	78	1265	-395
2-153	24	1025	145	2-164	83	725	200	2-174	24	980	-45	2-185	83	825	380
2-154	31	885	-85	2-165	86	970	-325	2-175	31	670	-115	2-186	86	1090	-50
2-155	35	930	-65	2-166	89	1130	-295	2-176	35	390	200	2-187	89	505	40
2-156	44	1105	220	2-167	95	1570	60	2-177	44	1430	535	2-188	95	990	-310
2-157	50	850	-245					2-178	50	1165	340				

表3. 2. 8(c) 砕石粒子単体の転動試験結果一覧 試番3

転動実験データシート										平成 26 年 11 月 5、6 日					
試番 : 3															
粒子 : B (40~80mm) 落下高さ : 1.0m 勾配 : 41度										落下種別 : 角落し : 3-1~3-74 平落し : 3-75~3-147					
距離単位 : mm															
試番	石番号	距離Y	距離X	試番	石番号	距離Y	距離X	試番	石番号	距離Y	距離X	試番	石番号	距離Y	距離X
3-1	2	1180	-245	3-35	51	785	85	3-75	2	865	545	3-109	51	975	85
3-2	4	885	-260	3-36	52	1130	-490	3-76	4	1495	155	3-110	52	1495	-300
3-3	5	1310	600	3-37	53	1020	440	3-77	5	365	45	3-111	53	1500	375
3-4	6	725	-340	3-39	55	1385	165	3-78	6	925	630	3-112	55	810	-65
3-5	7	1475	350	3-40	57	1505	-685	3-79	7	480	115	3-113	57	590	300
3-6	9	1430	320	3-41	59	1225	95	3-80	9	525	-80	3-114	59	1205	-280
3-7	11	2025	170	3-42	61	1090	-305	3-81	11	2420	-625	3-115	61	2430	-650
3-8	13	1785	250	3-43	62	1405	345	3-82	13	1160	385	3-116	62	1495	-220
3-9	16	565	90	3-44	63	650	135	3-83	16	590	35	3-117	63	1400	105
3-10	17	1245	-205	3-45	64	1090	-185	3-84	17	1795	-35	3-118	64	1125	190
3-11	18	1030	55	3-46	65	1935	-900	3-85	18	690	-490	3-119	65	1310	-545
3-12	19	1095	365	3-47	66	985	-65	3-86	19	1635	-50	3-120	66	1185	-175
3-13	21	1105	330	3-48	67	1075	-240	3-87	21	475	195	3-121	67	1335	145
3-14	22	1215	500	3-49	68	1240	-250	3-88	22	750	-200	3-122	68	1205	-560
3-15	25	930	-190	3-50	69	840	-155	3-89	25	2090	585	3-123	69	905	230
3-16	26	1540	595	3-51	71	505	-75	3-90	26	1115	100	3-124	71	415	-45
3-17	27	805	-240	3-52	72	1815	-355	3-91	27	1405	165	3-125	72	610	125
3-18	28	990	-40	3-53	74	1390	-580	3-92	28	1440	705	3-126	74	1015	-265
3-19	29	1740	-410	3-54	75	1530	75	3-93	29	1595	275	3-127	75	1340	45
3-20	30	760	-170	3-55	76	2130	415	3-94	30	1025	-315	3-128	76	2075	695
3-21	33	1080	-135	3-56	77	2925	-580	3-95	33	780	-100	3-129	77	1980	815
3-22	34	1010	-255	3-57	79	1230	-190	3-96	34	600	210	3-130	79	1705	-310
3-23	36	1450	-60	3-58	80	490	135	3-97	36	1120	-225	3-131	80	315	-85
3-24	37	1010	-705	3-59	81	605	165	3-98	37	525	440	3-132	81	620	90
3-25	38	1110	200	3-60	82	1140	705	3-99	38	945	-245	3-133	82	1920	360
3-26	39	2350	-470	3-61	84	1640	65	3-100	39	1160	235	3-134	84	3020	-500
3-27	40	1030	-50	3-62	85	530	-305	3-101	40	950	385	3-135	85	2000	670
3-28	41	955	-600	3-63	87	1590	-180	3-102	41	655	-265	3-136	87	2080	-655
3-29	42	715	-400	3-64	88	2380	200	3-103	42	920	-145	3-137	88	1405	235
3-30	43	1345	-80	3-65	90	825	-350	3-104	43	1105	105	3-138	90	1065	-55
3-31	45	920	-45	3-66	91	1105	-95	3-105	45	770	-180	3-139	91	570	-160
3-32	46	1765	-185	3-67	92	1115	-270	3-106	46	765	330	3-140	92	1565	580
3-33	48	920	230	3-68	93	405	-295	3-107	48	270	-95	3-141	93	1735	740
3-34	49	3005	-995	3-69	94	1405	1000	3-108	49	670	-295	3-142	94	1170	225
				3-70	96	1685	-730					3-143	96	1805	450
				3-71	97	1410	230					3-144	97	1860	-960
				3-72	98	760	-90					3-145	98	465	-290
				3-73	99	1405	625					3-146	99	1695	-270
				3-74	100	920	175					3-147	100	1275	-805
試番3-38は欠番															
転動実験データシート										平成 26 年 11 月 17、18 日 (画像撮影)					
試番 : 3															
粒子 : B (40~80mm) 落下高さ : 1.0m 勾配 : 41度										落下種別 : 角落し : 3-148~3-168 平落し : 3-169~3-189					
距離単位 : mm															
試番	石番号	距離Y	距離X	試番	石番号	距離Y	距離X	試番	石番号	距離Y	距離X	試番	石番号	距離Y	距離X
3-148	8	1350	-465	3-159	56	520	215	3-169	8	1230	355	3-180	56	1215	435
3-149	10	1180	230	3-160	58	3095	1070	3-170	10	1370	130	3-181	58	2955	-860
3-150	12	1285	-320	3-161	60	630	-330	3-171	12	1915	-260	3-182	60	1460	525
3-151	14	1110	410	3-162	70	1740	-230	3-172	14	1650	760	3-183	70	1710	-295
3-152	20	570	-205	3-163	73	3165	1060	3-173	20	2515	715	3-184	73	2000	-665
3-153	23	1500	245	3-164	78	1230	-460	3-174	23	1570	-275	3-185	78	1710	-830
3-154	24	1325	-370	3-165	83	1570	-565	3-175	24	825	-115	3-186	83	1850	315
3-155	31	2340	110	3-166	86	1785	525	3-176	31	3570	385	3-187	86	1735	-740
3-156	35	750	50	3-167	89	1960	-210	3-177	35	1475	660	3-188	89	1675	-600
3-157	44	2050	40	3-168	95	1220	-450	3-178	44	1205	-920	3-189	95	1910	-945
3-158	50	2060	830					3-179	50	1185	310				

表3. 2. 8(d) 砕石粒子単体の転動試験結果一覧 試番4

転動実験データシート								平成 26 年 11 月 5 日							
試番4															
粒子:B(40~80mm)				落下高さ: 2.0m		勾配: 41度		落下種別: 角落し: 4-1~4-74				平落し: 4-75~4-148			
距離単位: mm															
試番	石番号	距離Y	距離X	試番	石番号	距離Y	距離X	試番	石番号	距離Y	距離X	試番	石番号	距離Y	距離X
4-1	2	2110	895	4-35	51	2820	405	4-75	2	2180	1560	4-109	51	2435	-40
4-2	4	1635	460	4-36	52	3975	-190	4-76	4	1840	750	4-110	52	2310	170
4-3	5	4165	-2000	4-37	53	2345	-1640	4-77	5	2120	-725	4-111	53	2230	185
4-4	6	2000	-425	4-38	54	3880	-450	4-78	6	2145	-150	4-112	54	1740	700
4-5	7	1810	240	4-39	55	3000	-130	4-79	7	1890	290	4-113	55	2965	-100
4-6	9	900	210	4-40	57	1935	330	4-80	9	2250	450	4-114	57	990	-210
4-7	11	2930	-560	4-41	59	2100	-260	4-81	11	5355	-810	4-115	59	1390	-325
4-8	13	2055	480	4-42	61	2980	-210	4-82	13	2305	750	4-116	61	3820	100
4-9	16	765	60	4-43	62	3410	505	4-83	16	1405	-525	4-117	62	1645	-490
4-10	17	2450	875	4-44	63	2025	-1020	4-84	17	1940	-410	4-118	63	2615	-135
4-11	18	2470	670	4-45	64	2125	-45	4-85	18	1065	-245	4-119	64	2690	-1090
4-12	19	2625	635	4-46	65	3390	945	4-86	19	1675	-310	4-120	65	2105	-220
4-13	21	1525	400	4-47	66	2055	-260	4-87	21	3240	550	4-121	66	3930	-930
4-14	22	3045	265	4-48	67	3380	190	4-88	22	3170	1080	4-122	67	3830	820
4-15	25	2515	1425	4-49	68	850	430	4-89	25	4000	215	4-123	68	4405	90
4-16	26	4980	-675	4-50	69	3085	-85	4-90	26	2605	735	4-124	69	1355	-1065
4-17	27	2200	130	4-51	71	1715	-635	4-91	27	890	365	4-125	71	555	225
4-18	28	2500	100	4-52	72	4045	1010	4-92	28	3650	-780	4-126	72	2265	760
4-19	29	1565	-265	4-53	74	860	345	4-93	29	3645	-45	4-127	74	4410	-765
4-20	30	1030	90	4-54	75	2315	-85	4-94	30	4520	-1710	4-128	75	2400	690
4-21	33	1910	-110	4-55	76	2065	630	4-95	33	3000	-1100	4-129	76	3390	75
4-22	34	1020	-45	4-56	77	1575	270	4-96	34	2105	-750	4-130	77	2825	-780
4-23	36	1065	-65	4-57	79	2320	470	4-97	36	2575	185	4-131	79	2835	-390
4-24	37	2515	70	4-58	80	4035	-1665	4-98	37	1730	-230	4-132	80	3745	-80
4-25	38	2405	570	4-59	81	1880	-185	4-99	38	3350	-620	4-133	81	2595	-155
4-26	39	3860	-525	4-60	82	1695	-280	4-100	39	2500	945	4-134	82	1940	-865
4-27	40	1465	660	4-61	84	2310	-300	4-101	40	2445	-1200	4-135	84	4190	-265
4-28	41	2695	1295	4-62	85	4410	90	4-102	41	2320	-1105	4-136	85	2560	1010
4-29	42	2130	-790	4-63	87	2560	-900	4-103	42	2220	495	4-137	87	5375	-1360
4-30	43	2310	685	4-64	88	3015	-250	4-104	43	1595	270	4-138	88	1560	-715
4-31	45	1785	-390	4-65	90	4310	-680	4-105	45	2205	695	4-139	90	1800	105
4-32	46	2020	-755	4-66	91	2545	2060	4-106	46	2765	555	4-140	91	3095	315
4-33	48	3165	2145	4-67	92	2105	1510	4-107	48	2005	-285	4-141	92	1055	-65
4-34	49	2120	565	4-68	93	2960	-200	4-108	49	1135	65	4-142	93	2155	-445
				4-69	94	4685	250					4-143	94	3790	-70
				4-70	96	1470	-255					4-144	96	2205	-75
				4-71	97	3340	730					4-145	97	3940	-365
				4-72	98	2105	-340					4-146	98	1220	505
				4-73	99	2850	-165					4-147	99	815	-485
				4-74	100	1535	850					4-148	100	2290	-630
転動実験データシート								平成 26 年 11 月 14、17 日(画像撮影)							
試番4															
粒子:B(40~80mm)				落下高さ: 2.0m		勾配: 41度		落下種別: 角落し: 4-149~4-170				平落し: 4-171~4-191			
距離単位: mm															
試番	石番号	距離Y	距離X	試番	石番号	距離Y	距離X	試番	石番号	距離Y	距離X	試番	石番号	距離Y	距離X
4-149	8	4445	1200	4-161	56	2300	950	4-171	8	3065	1405	4-182	56	2410	60
4-150	10	1925	-1080	4-162	58	5225	420	4-172	10	2025	-235	4-183	58	2405	-615
4-151	12	2670	205	4-163	60	3960	-245	4-173	12	3715	-130	4-184	60	720	-45
4-152	14	1405	-355	4-164	70	2955	1355	4-174	14	2160	380	4-185	70	2535	-425
4-153	20	2370	190	4-165	73	3525	470	4-175	20	4045	-1300	4-186	73	1495	390
4-154	23	4235	-1065	4-166	78	2785	-265	4-176	23	3200	975	4-187	78	4960	-150
4-155	24	1725	-120	4-167	83	2505	660	4-177	24	1395	125	4-188	83	2690	1100
4-156	31	3265	200	4-168	86	2950	560	4-178	31	2670	-580	4-189	86	3850	-100
4-157	35	5165	540	4-169	89	5275	745	4-179	35	3935	-330	4-190	89	4470	-495
4-158	35	1910	165	4-170	95	4830	-2050	4-180	44	4695	-465	4-191	95	3825	500
4-159	44	3020	-1595					4-181	50	640	130				
4-160	50	4345	420												



表3. 2. 8(e) 砕石粒子単体の転動試験結果一覧 試番5

転動実験データシート												平成 26 年 12 月 18, 19 日			
試番 : 5															
粒子 : B(40~80mm) 落下高さ : 2.0m 勾配 : 60度												落下種別 : 角 落 し : 5-1~5-73 平 落 し : 5-74~5-146			
距離単位 : mm															
試番	石番号	距離Y	距離X	試番	石番号	距離Y	距離X	試番	石番号	距離Y	距離X	試番	石番号	距離Y	距離X
5-1	2	1715	-670	5-41	61	2785	-740	5-74	2	2420	275	5-114	61	2030	-465
5-2	4	915	-250	5-42	62	370	65	5-75	4	1975	360	5-115	62	2935	275
5-3	5	4055	-735	5-43	63	660	520	5-76	5	3320	-565	5-116	63	1800	40
5-4	6	1675	840	5-44	64	950	335	5-77	6	2730	830	5-117	64	1145	1715
5-5	7	1035	-1170	5-45	65	1675	275	5-78	7	3650	55	5-118	65	1980	1160
5-6	9	705	-350	5-46	66	2005	-250	5-79	9	1340	130	5-119	66	330	225
5-7	11	1780	1030	5-47	67	195	-830	5-80	11	2050	-145	5-120	67	1070	-1395
5-8	13	1615	-1440	5-48	68	3275	-920	5-81	13	1380	-220	5-121	68	2030	1310
5-9	16	2195	-550	5-49	69	3540	235	5-82	16	2015	-865	5-122	69	3075	-865
5-10	17	235	-135	5-50	71	3050	-305	5-83	17	4480	95	5-123	71	1340	485
5-11	18	1420	-125	5-51	72	2795	1430	5-84	18	1510	-340	5-124	72	2180	-1015
5-12	19	2340	230	5-52	74	1250	-445	5-85	19	2055	-665	5-125	74	2390	-780
5-13	21	1015	-745	5-53	75	2360	1250	5-86	21	180	-225	5-126	75	845	615
5-14	22	2525	-1795	5-54	76	675	620	5-87	22	945	-100	5-127	76	3545	-1970
5-15	25	3360	1235	5-55	77	1955	-1465	5-88	25	1210	-1085	5-128	77	3680	880
5-16	26	1465	300	5-56	79	530	60	5-89	26	590	-440	5-129	79	755	865
5-17	27	1085	745	5-57	80	875	-595	5-90	27	1885	-900	5-130	80	830	-235
5-18	28	1260	760	5-58	81	2350	405	5-91	28	2020	-1455	5-131	81	1430	620
5-19	29	1925	-1575	5-59	82	1300	1945	5-92	29	2785	-240	5-132	82	650	150
5-20	30	1870	-425	5-60	84	2655	-735	5-93	30	2510	500	5-133	84	1285	930
5-21	33	1700	-945	5-61	85	3885	-1145	5-94	33	1980	100	5-134	85	2780	-90
5-22	34	1025	525	5-62	87	3170	-1105	5-95	34	3005	380	5-135	87	3210	-555
5-23	36	460	320	5-63	88	2275	-780	5-96	36	445	-1185	5-136	88	2120	-120
5-24	37	780	230	5-64	90	3220	1500	5-97	37	3340	470	5-137	90	2120	-450
5-25	38	285	-350	5-65	91	1860	-300	5-98	38	700	-375	5-138	91	2315	-80
5-26	39	190	525	5-66	92	1555	-650	5-99	39	1605	-1550	5-139	92	330	200
5-27	40	2370	180	5-67	93	375	-280	5-100	40	1790	-110	5-140	93	585	630
5-28	41	1555	-905	5-68	94	1330	-1485	5-101	41	340	365	5-141	94	2010	70
5-29	42	1470	-1010	5-69	96	575	285	5-102	42	4345	665	5-142	96	670	310
5-30	43	1600	105	5-70	97	2165	70	5-103	43	2280	1285	5-143	97	1780	905
5-31	45	3685	190	5-71	98	1335	-520	5-104	45	1120	155	5-144	98	1845	-30
5-32	46	2060	-105	5-72	99	3600	850	5-105	46	240	-245	5-145	99	3880	1305
5-33	48	1030	150	5-73	100	2855	1280	5-106	48	390	-125	5-146	100	1675	-675
5-34	49	3970	1055					5-107	49	1870	-495				
5-35	51	1595	-490					5-108	51	2420	-250				
5-36	52	1445	280					5-109	52	3085	690				
5-37	53	250	940					5-110	53	1565	-405				
5-38	55	2635	160					5-111	55	1830	1120				
5-39	57	2520	440					5-112	57	1315	1750				
5-40	59	705	290					5-113	59	2410	900				
転動実験データシート												平成 26 年 12 月 22 日 (画像撮影)			
試番 : 5															
粒子 : B(40~80mm) 落下高さ : 2.0m 勾配 : 60度												落下種別 : 角 落 し : 5-147~5-167 平 落 し : 5-168~5-191			
距離単位 : mm															
試番	石番号	距離Y	距離X	試番	石番号	距離Y	距離X	試番	石番号	距離Y	距離X	試番	石番号	距離Y	距離X
5-147	8	1630	610	5-159	58	3085	150	5-168	8	1260	770	5-180	58	3450	380
5-148	10	2115	355	5-160	60	660	795	5-169	10	3525	445	5-181	60	1510	-1165
5-149	12	705	-135	5-161	70	1530	-600	5-170	12	745	430	5-182	70	3000	-1060
5-150	14	2140	160	5-162	73	2670	-935	5-171	14	2235	1075	5-183	73	405	-130
5-151	20	375	-430	5-163	78	740	135	5-172	20	1220	-1310	5-184	78	2515	930
5-152	23	3200	-1055	5-164	83	320	40	5-173	23	1505	1560	5-185	83	2345	2105
5-153	24	2095	-275	5-165	86	3060	920	5-174	24	2525	-745	5-186	86	490	165
5-154	31	2495	130	5-166	89	3965	605	5-175	31	1500	330	5-187	89	975	995
5-155	35	1440	-475	5-167	95	2175	-100	5-176	35	2525	1550	5-188	8	175	-85
5-156	44	1730	-470					5-177	44	670	45				
5-157	50	1660	630					5-178	50	3785	-345				
5-158	56	3385	-1430					5-179	56	1210	-270				

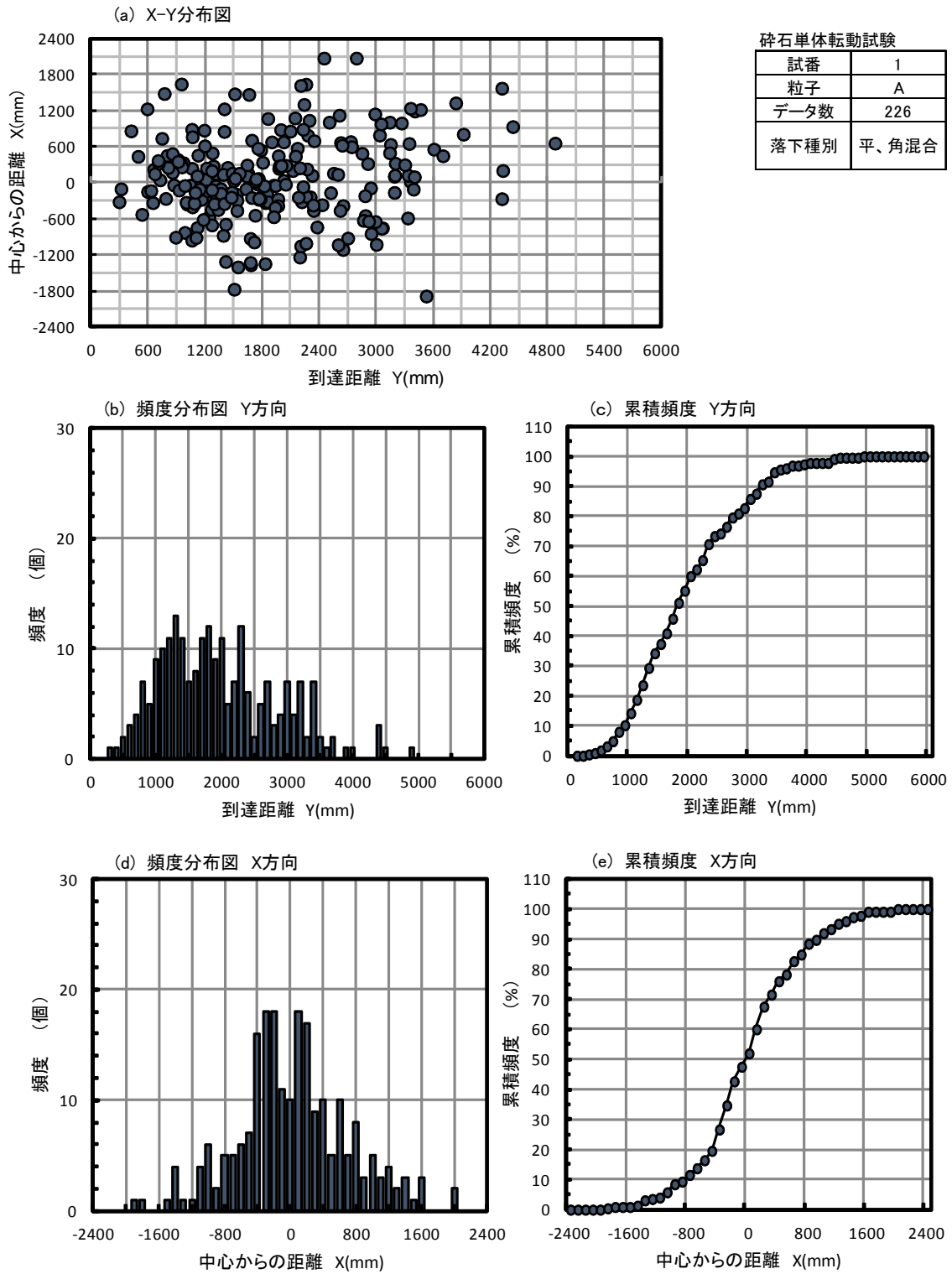


図3.2.10 (a) 砕石単体転動試験結果  
 試番1 粒子：A、勾配：41度、落下高さ：2m（全データ）

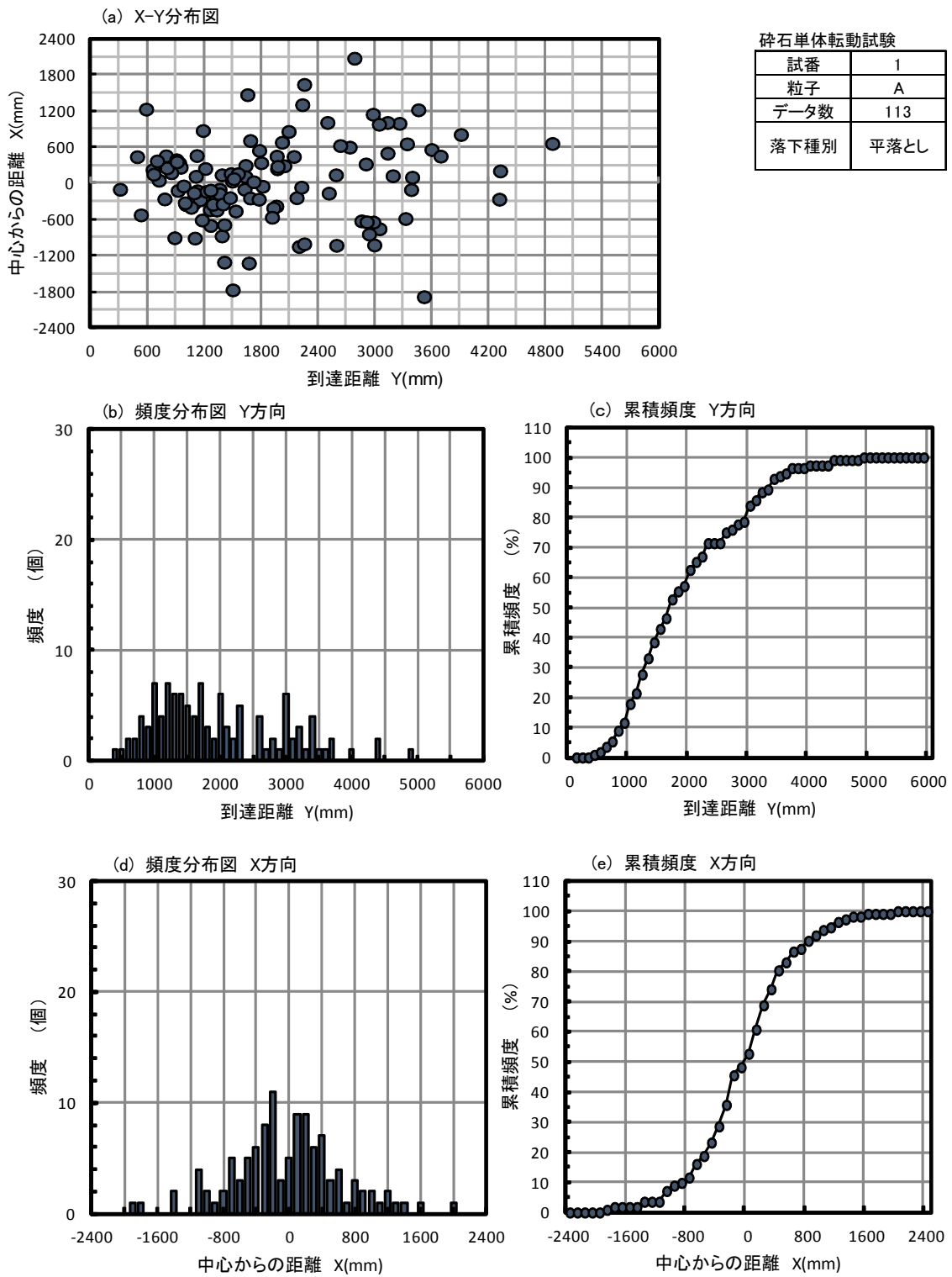


図3.2.10 (b) 砕石単体転動試験結果  
 試番1 粒子：A、勾配：41度、落下高さ：2m（平落とし）

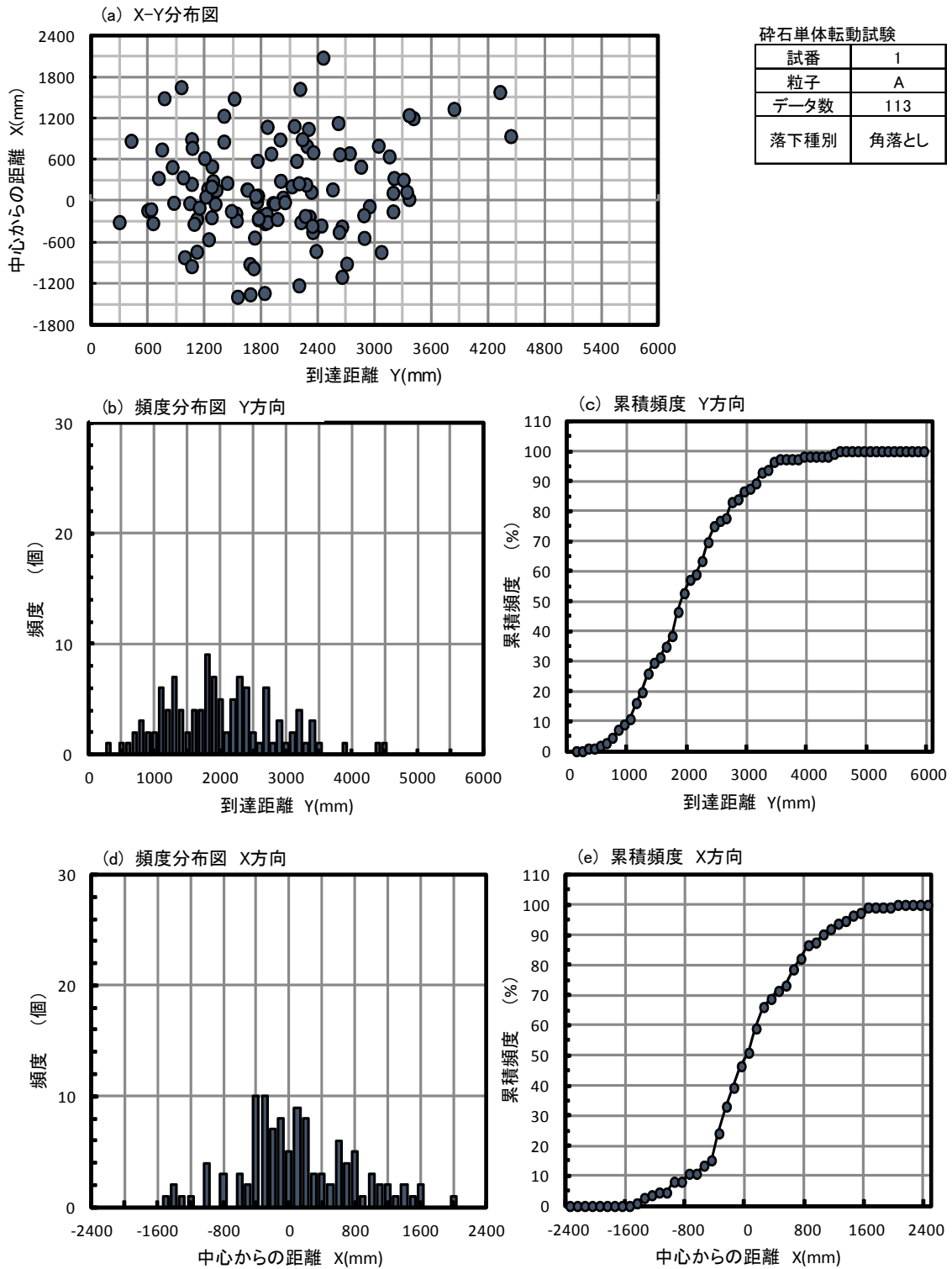


図3.2.10(c) 碎石単体転動試験結果  
 試番1 粒子:A、勾配:41度、落下高さ:2m(角落とし)

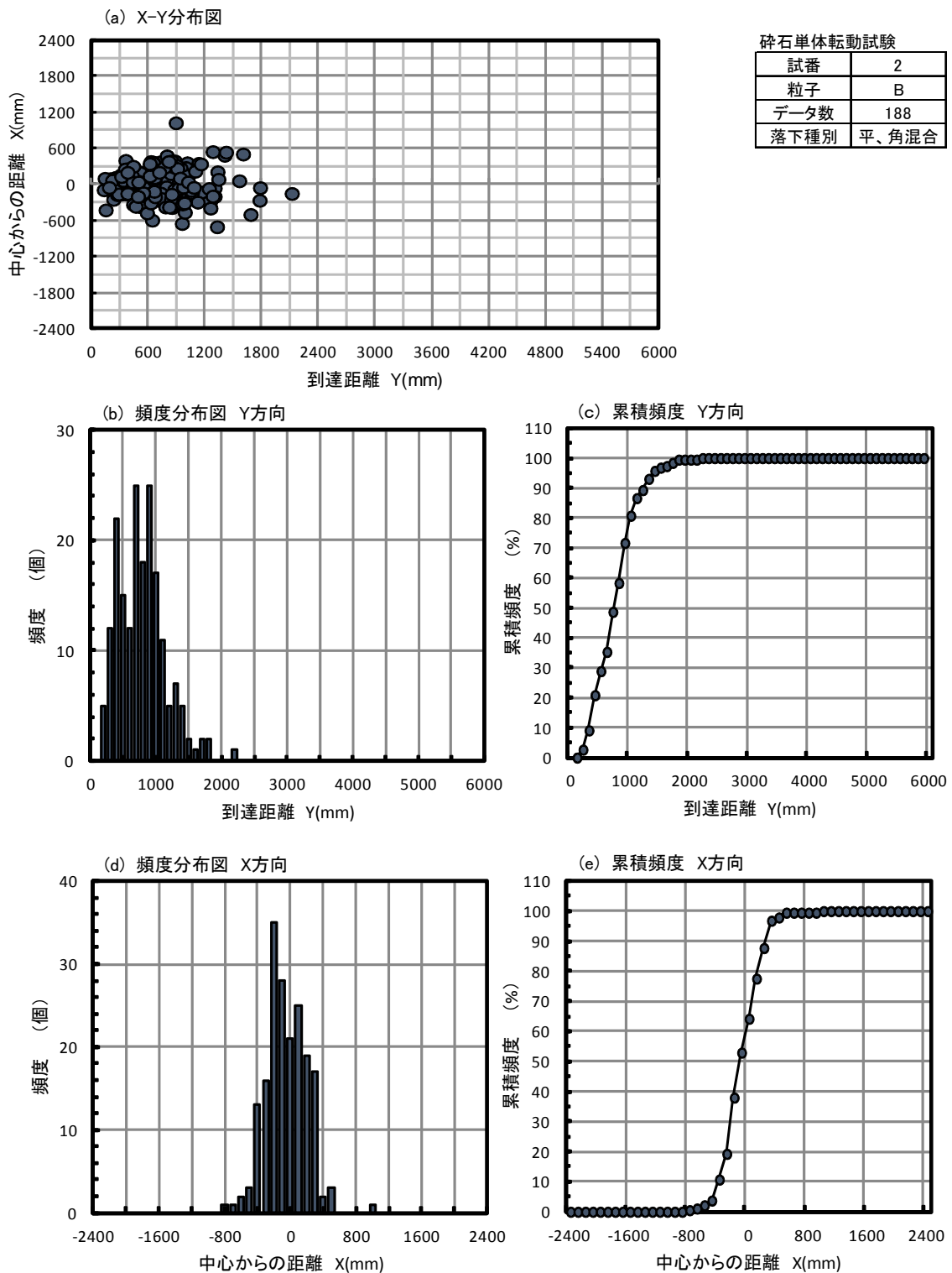


図3.2.10 (d) 碎石単体転動試験結果  
試番2 粒子：B、勾配：41度、落下高さ：0.5m (全データ)

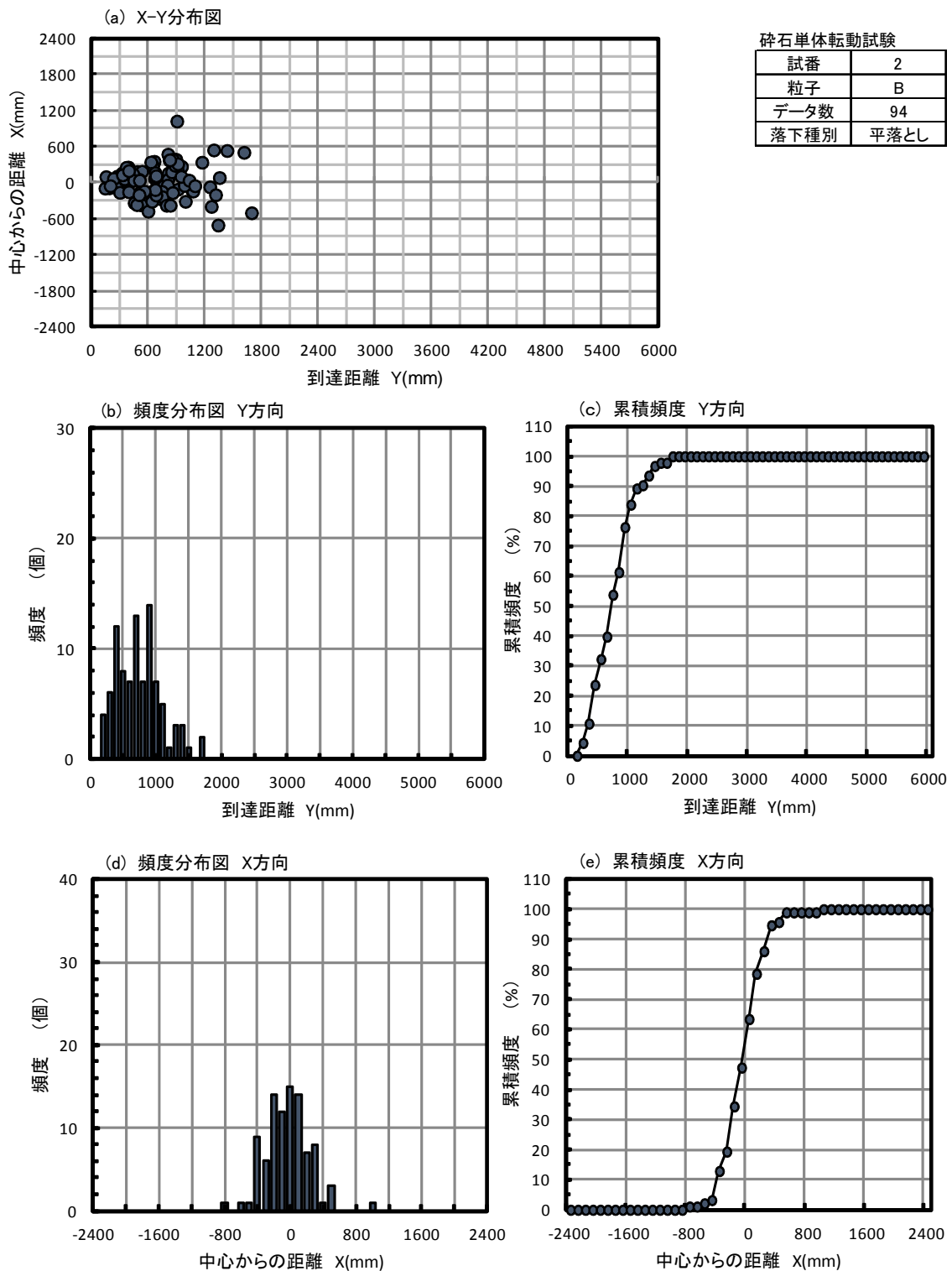


図3.2.10(e) 碎石単体転動試験結果  
 試番2 粒子：B、勾配：41度、落下高さ：0.5m（平落とし）

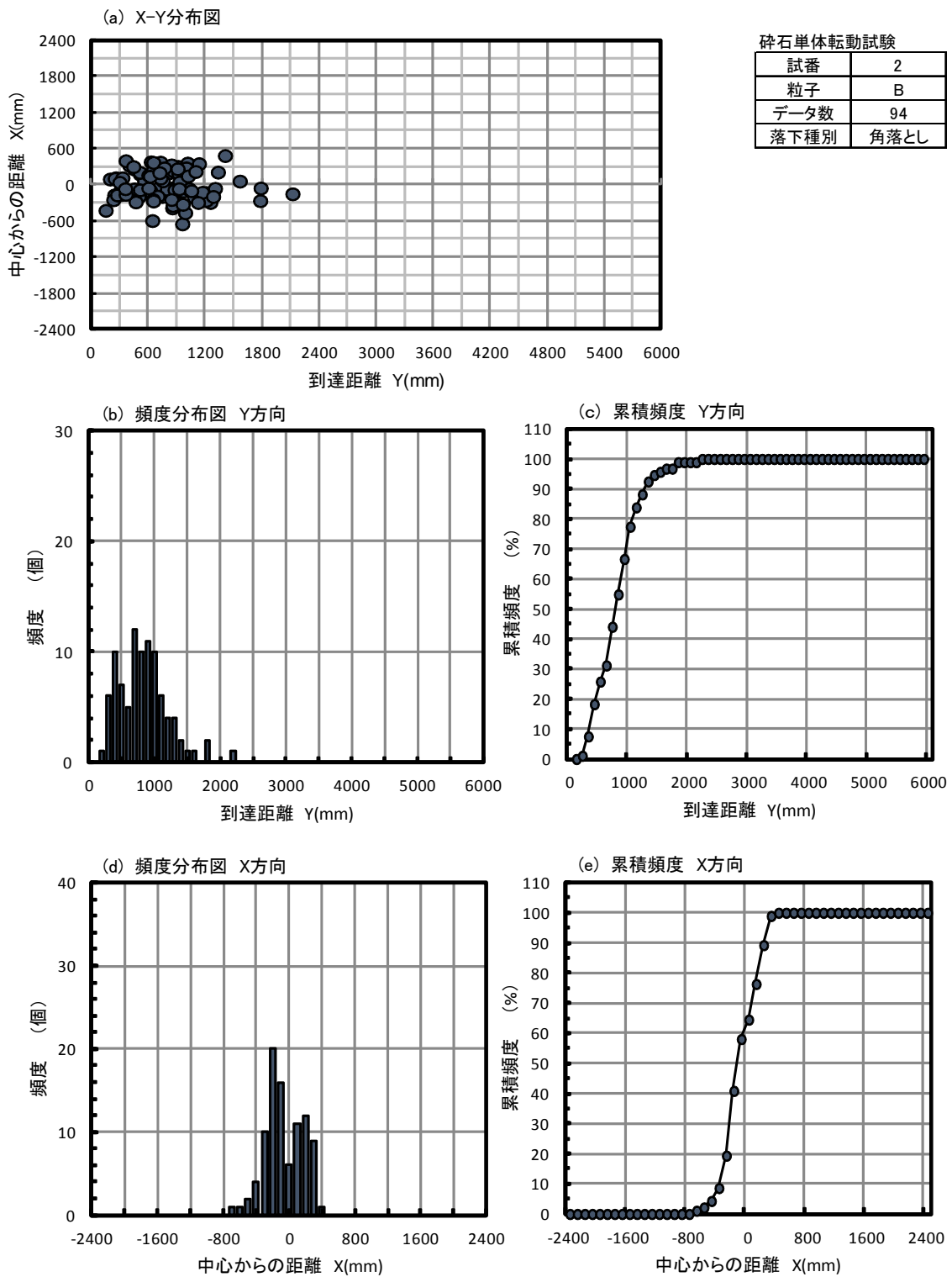


図3.2.10(f) 碎石単体転動試験結果  
試番2 粒子：B、勾配：41度、落下高さ：0.5m（角落とし）

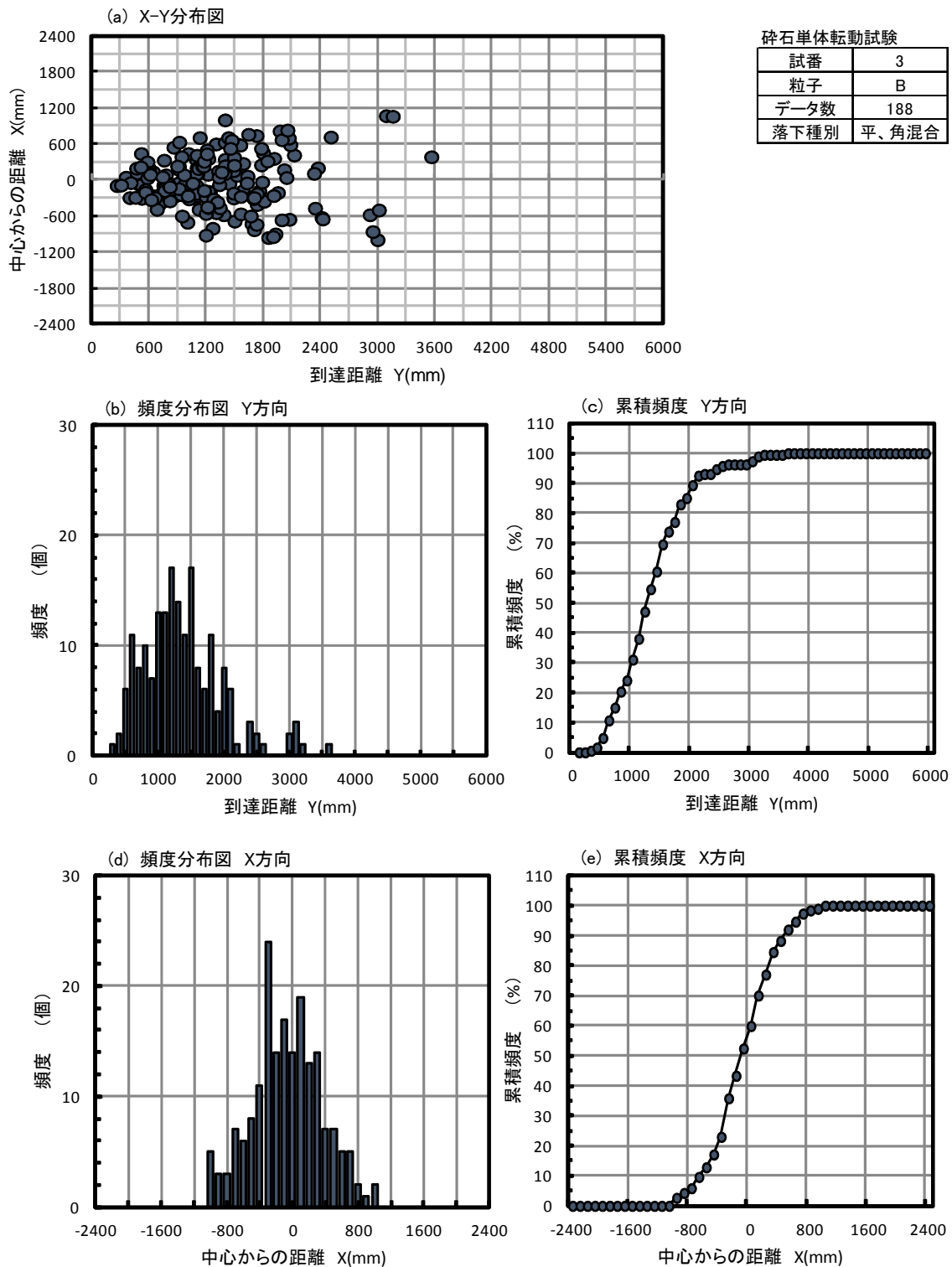


図3.2.10(g) 碎石単体転動試験結果  
 試番3 粒子：B、勾配：41度、落下高さ：1m（全データ）



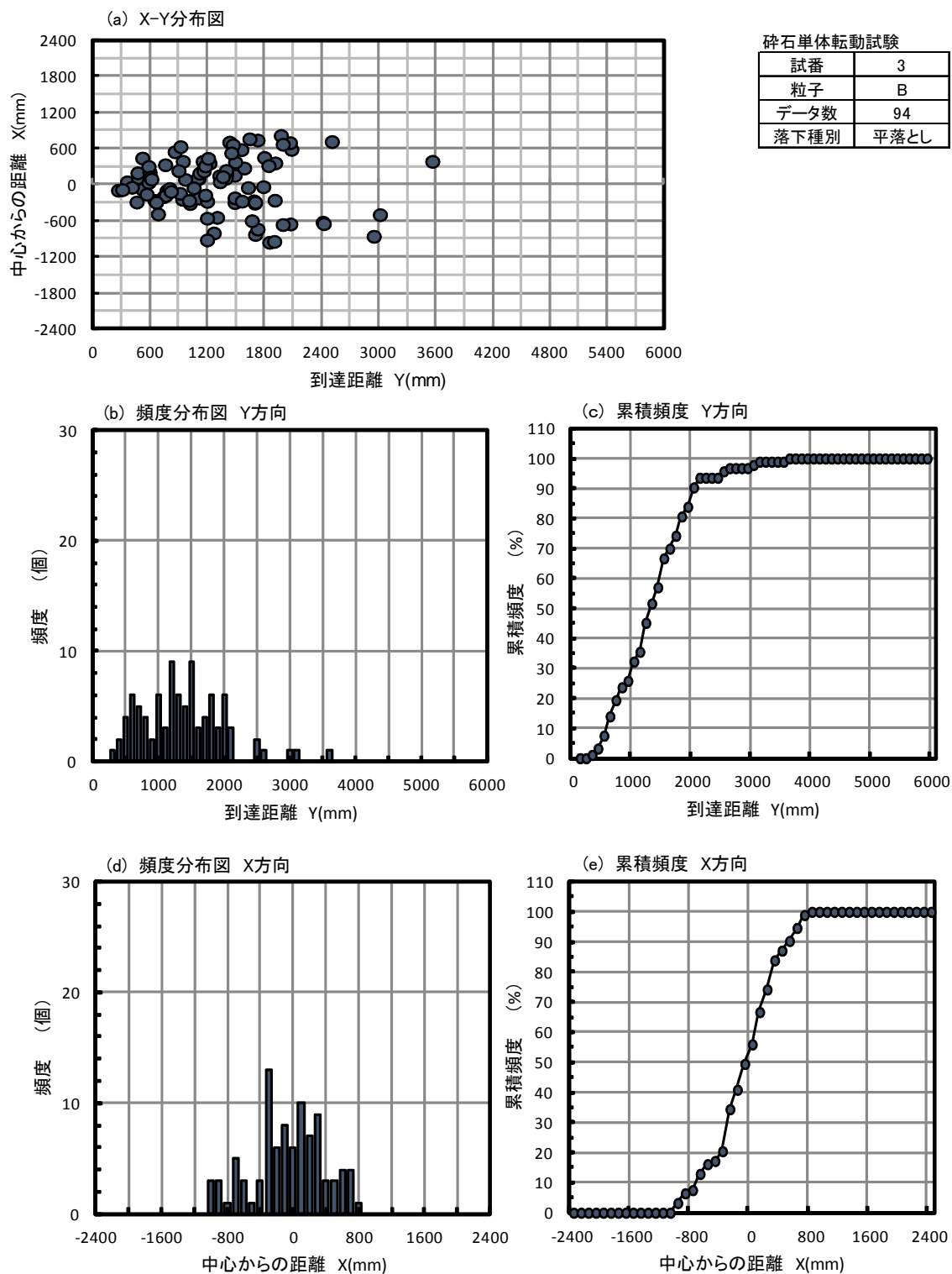


図3.2.10(h) 碎石単体転動試験結果  
 試番3 粒子：B、勾配：41度、落下高さ：1m（平落とし）

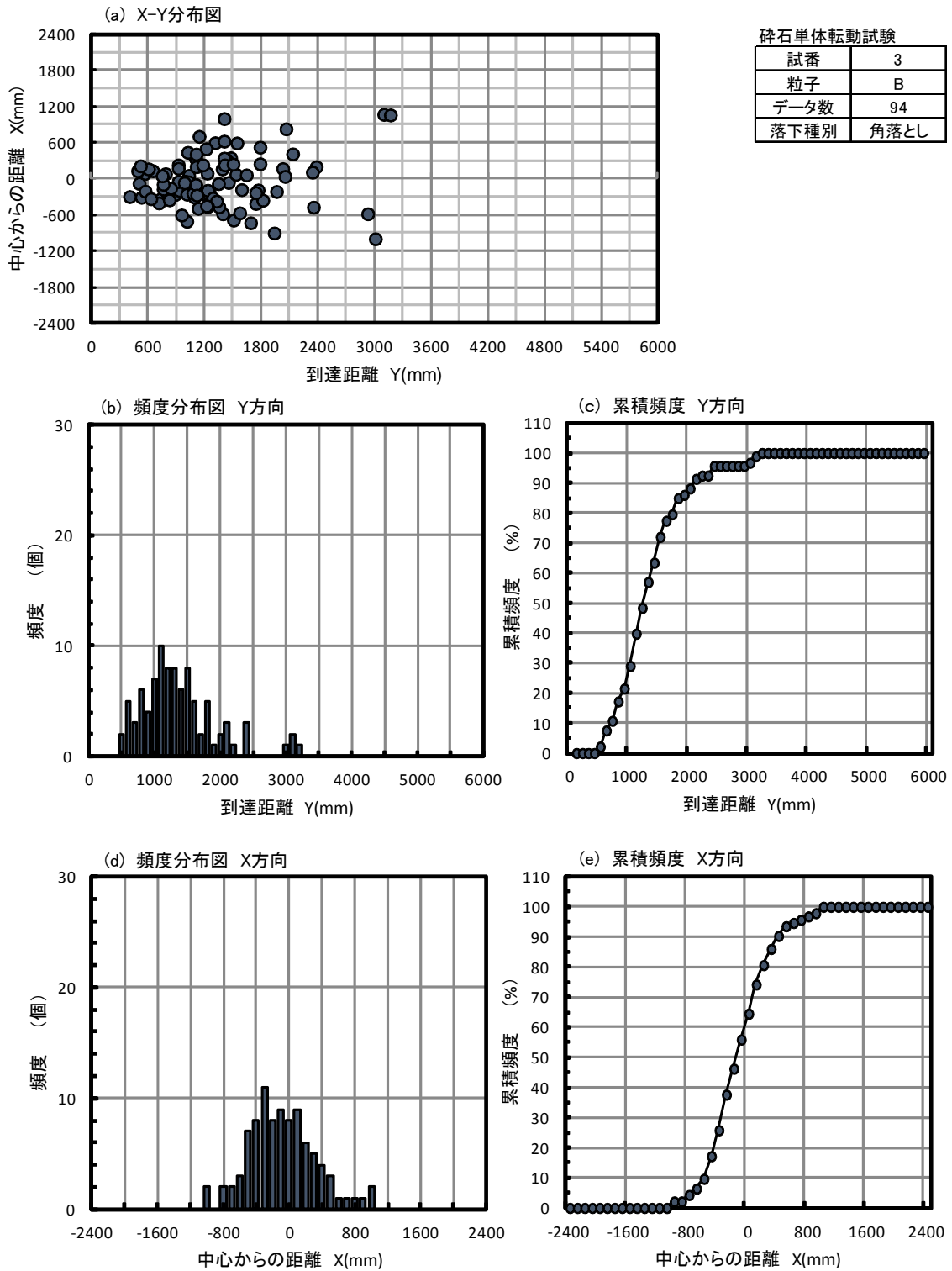


図3.2.10(i) 碎石単体転動試験結果  
 試番3 粒子：B、勾配：41度、落下高さ：1m（角落とし）

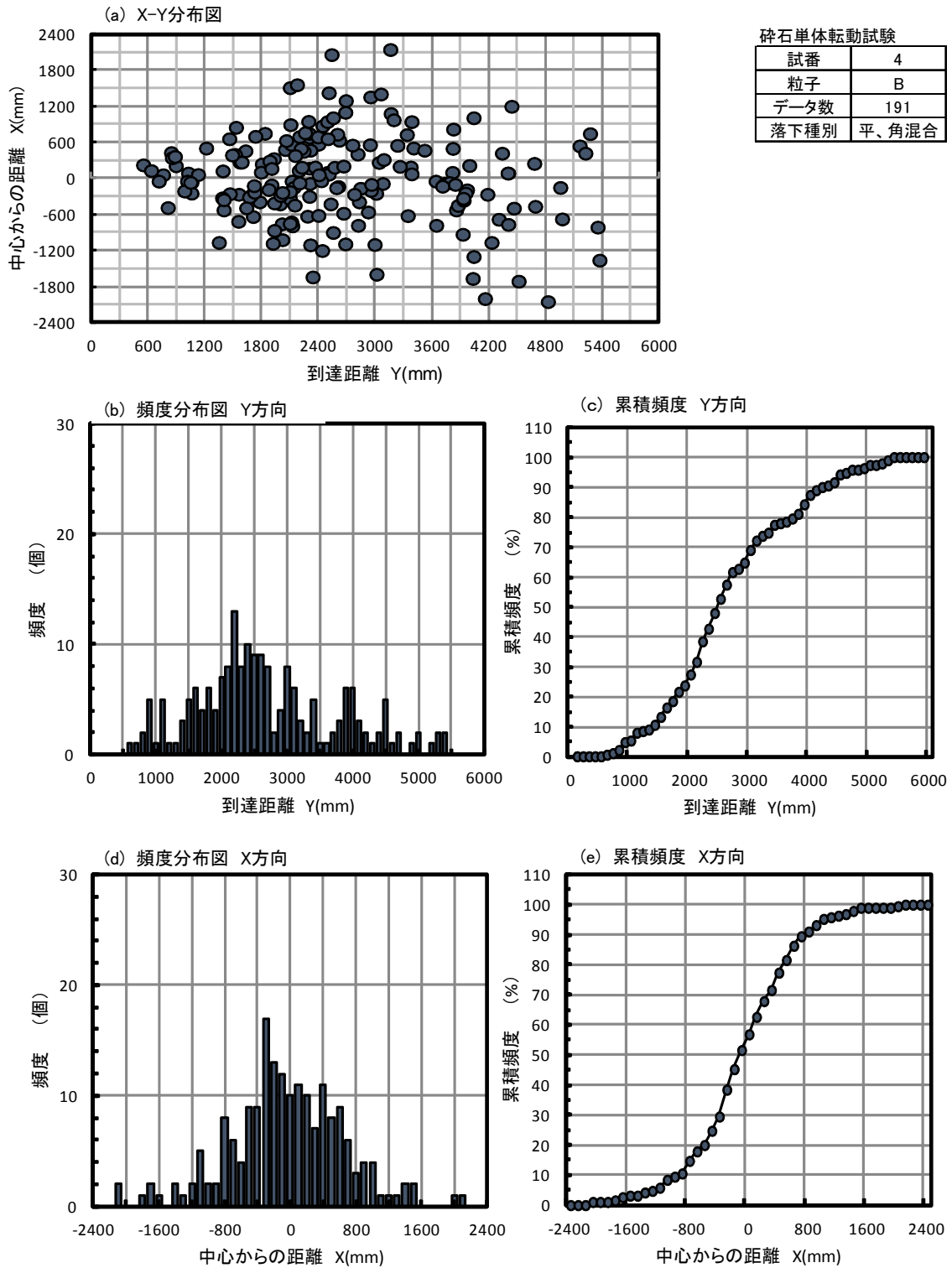


図3.2.10(j) 碎石単体転動試験結果  
 試番4 粒子：B、勾配：41度、落下高さ：2m（全データ）

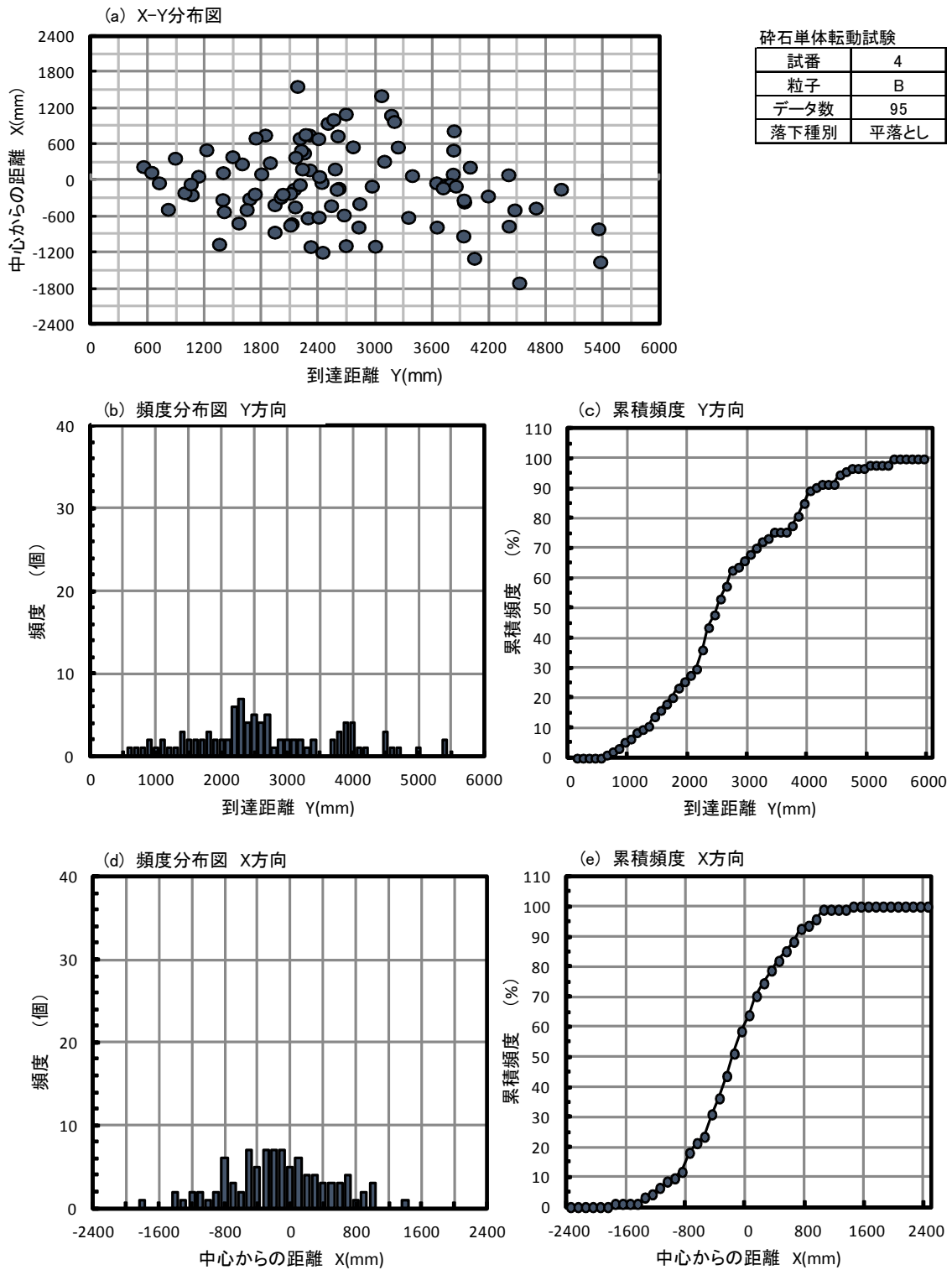


図3.2.10(k) 碎石単体転動試験結果  
 試番4 粒子：B、勾配：41度、落下高さ：2m（平落とし）

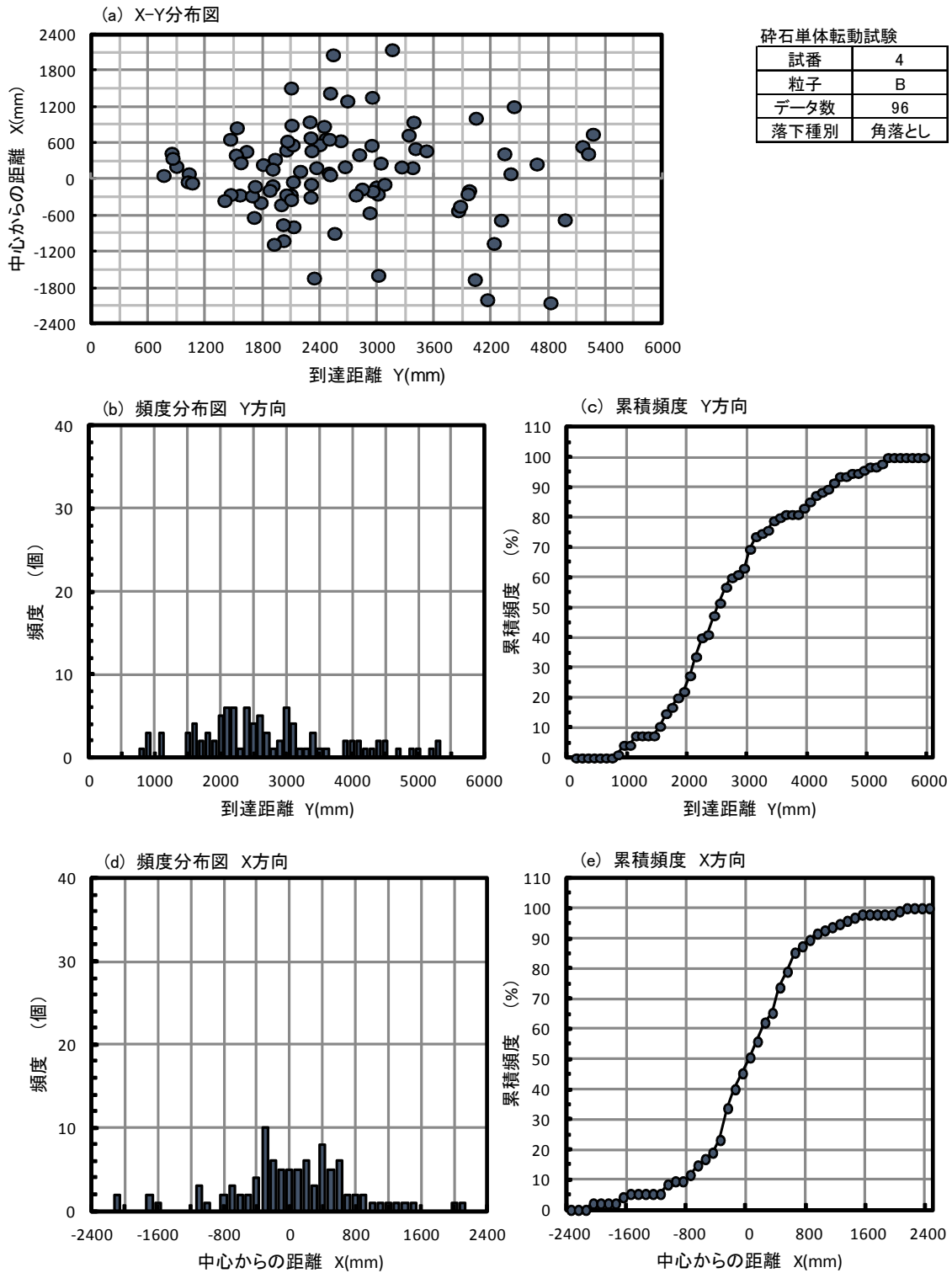


図3.2.10(1) 碎石単体転動試験結果  
 試番4 粒子：B、勾配：41度、落下高さ：2m（角落とし）

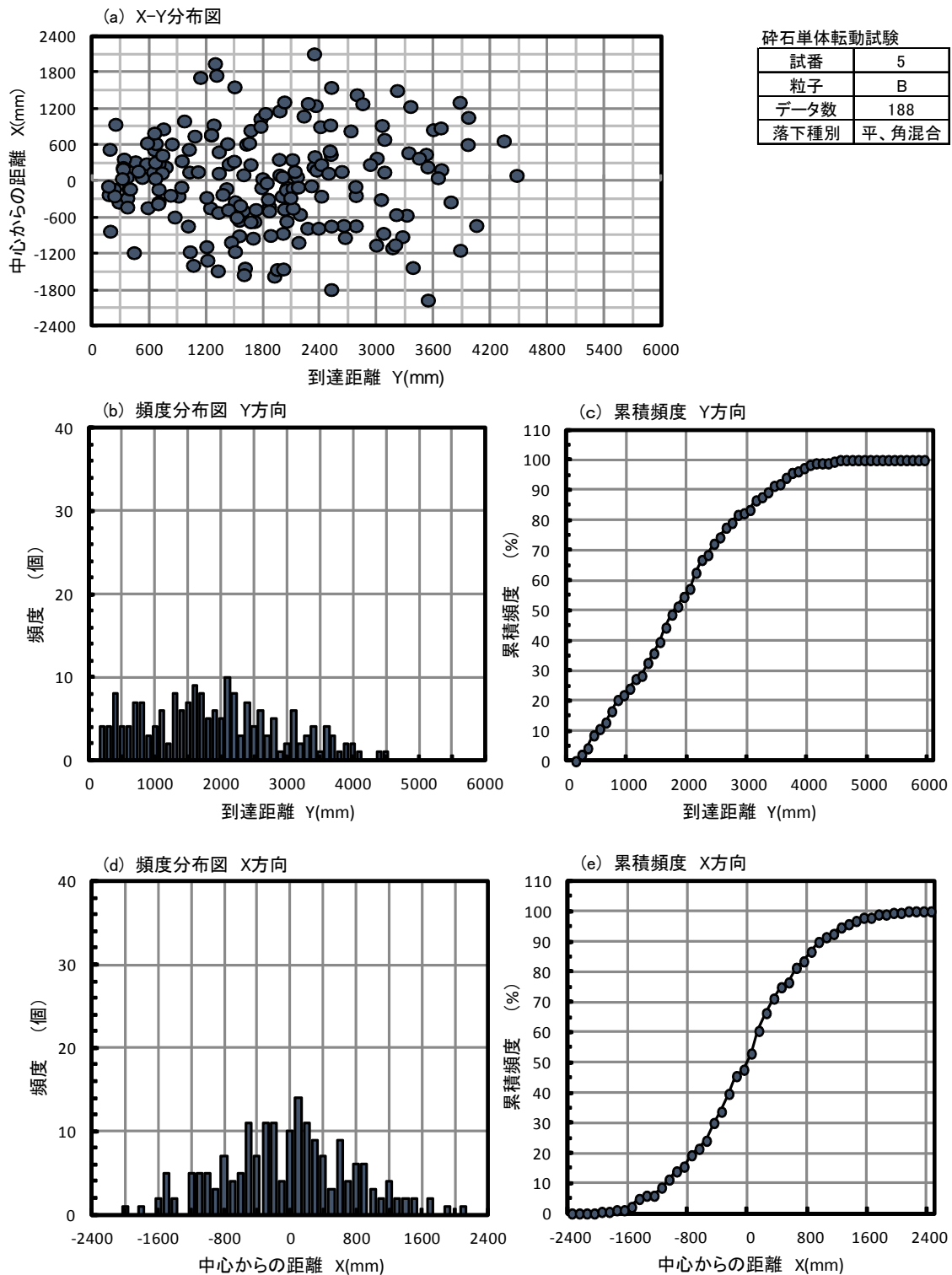


図3.2.10 (m) 碎石単体転動試験結果  
試番5 粒子：B、勾配：60度、落下高さ：2m、（全データ）

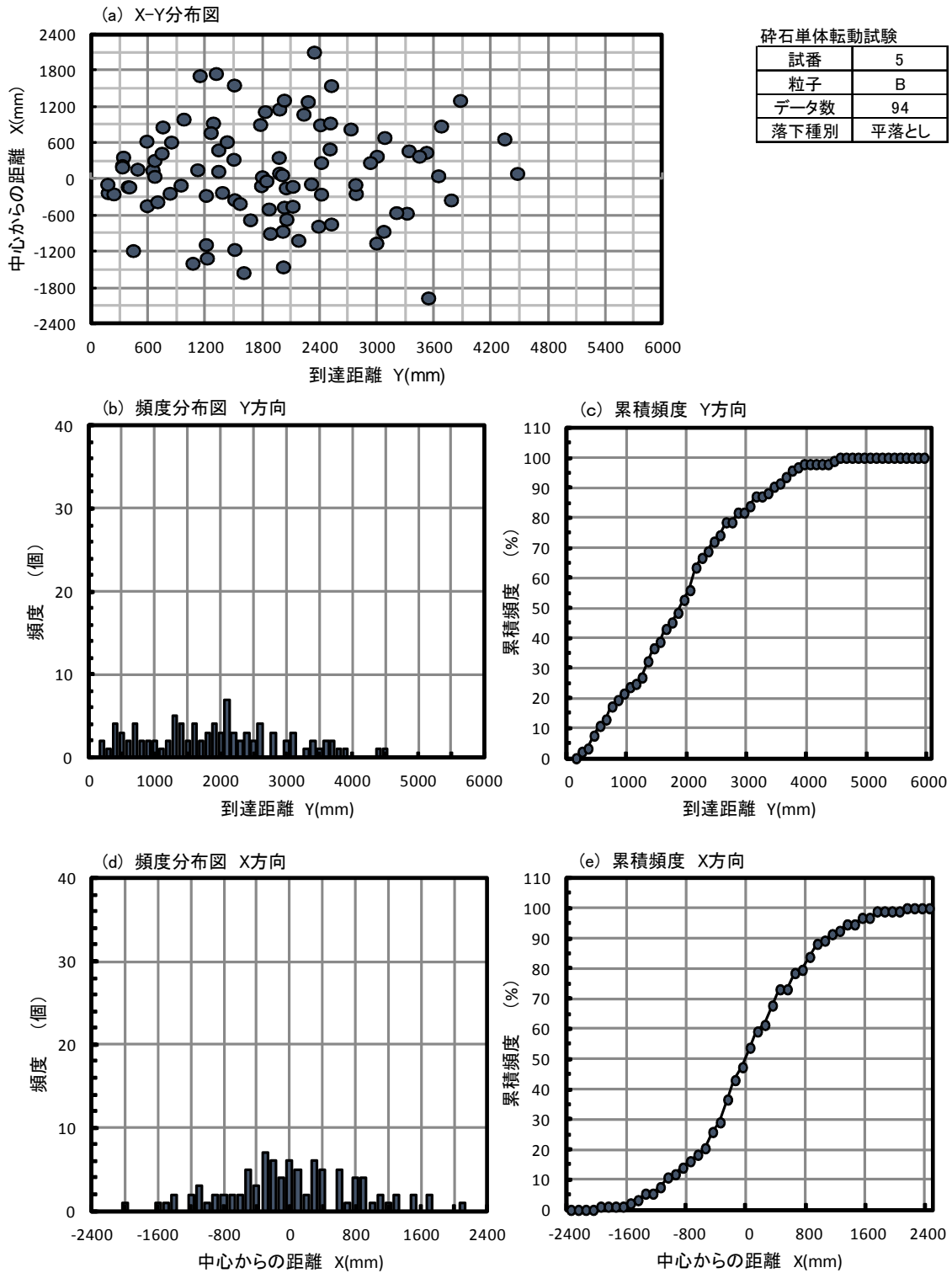


図3.2.10(n) 碎石単体転動試験結果  
 試番5 粒子：B、勾配：60度、落下高さ：2m（平落とし）

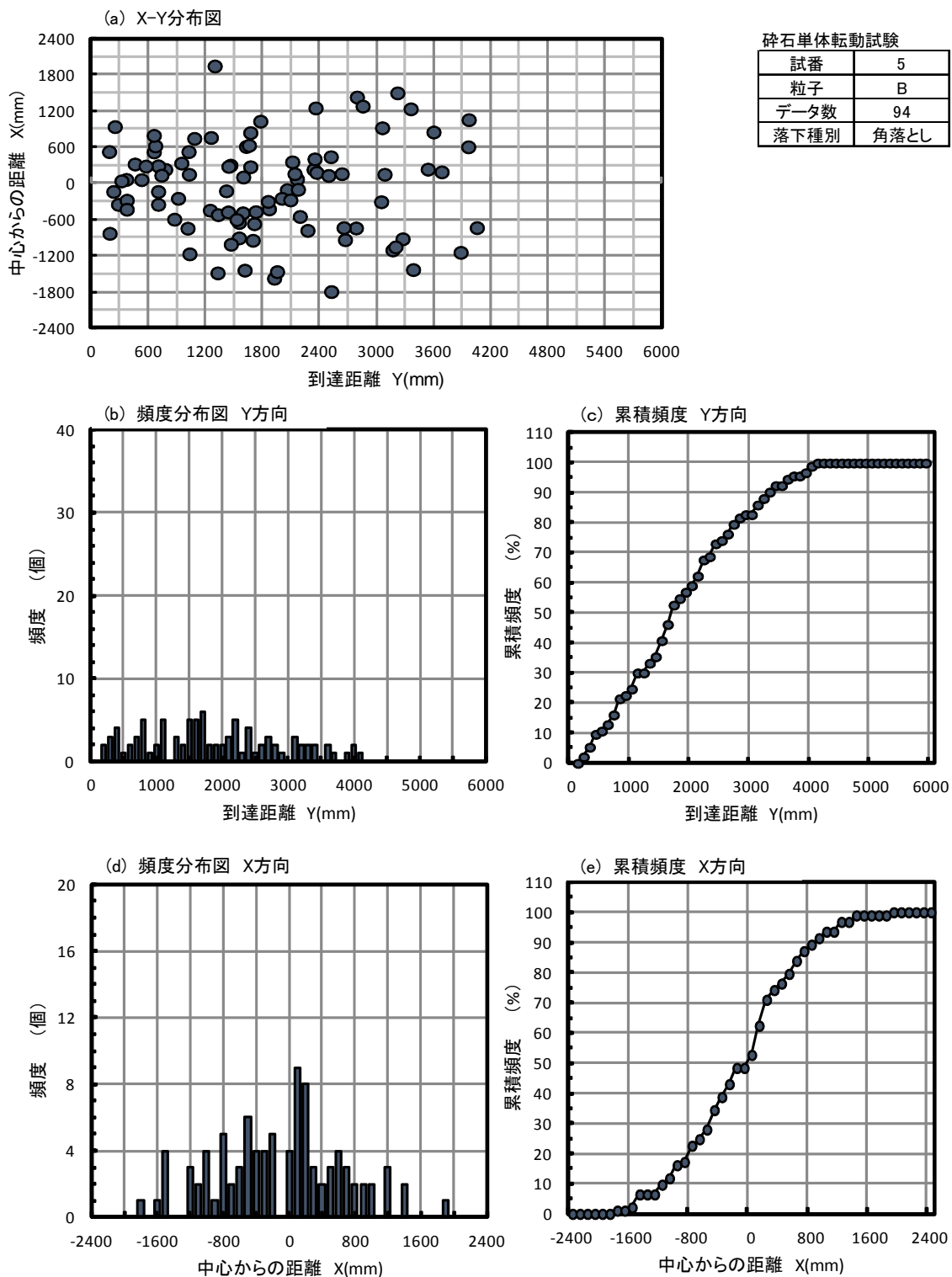


図 3. 2. 1 0 (o) 碎石単体転動試験結果  
試番5 粒子：B、勾配：60度、落下高さ：2m（角落とし）



## ②画像解析結果

図 3.2.11～図 3.2.82 にそれぞれの「試番 ケース」に対する流路正面写真，流路正面三次元メッシュ図，二次元変位・速度軌跡を示す。また，表 3.2.9 に速度一覧，表 3.3.10 に角速度および転動係数の一覧を示す。

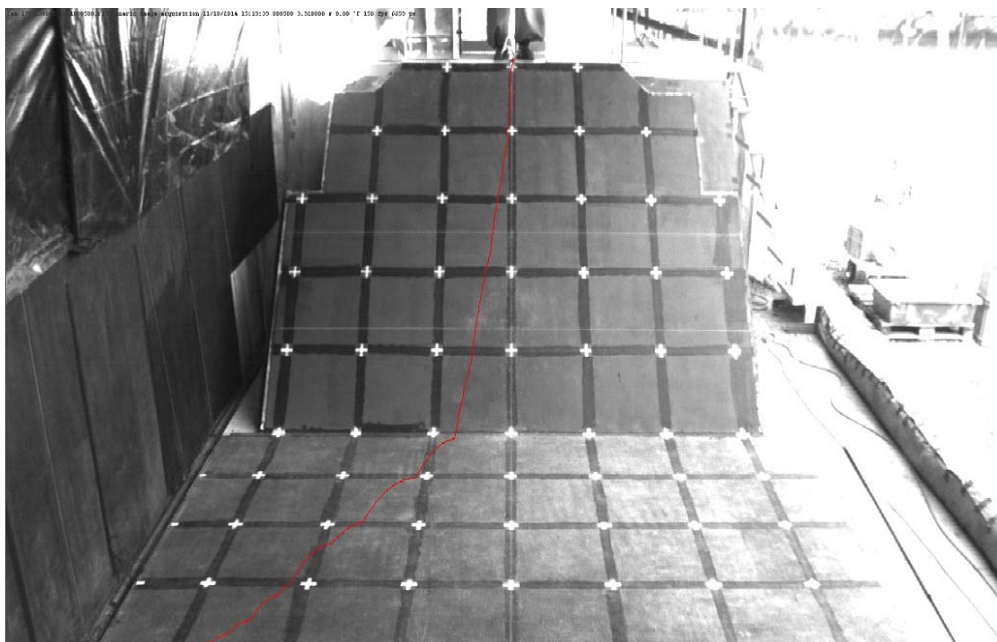


図 3.2.11 試番 1 ケース 2 流路正面

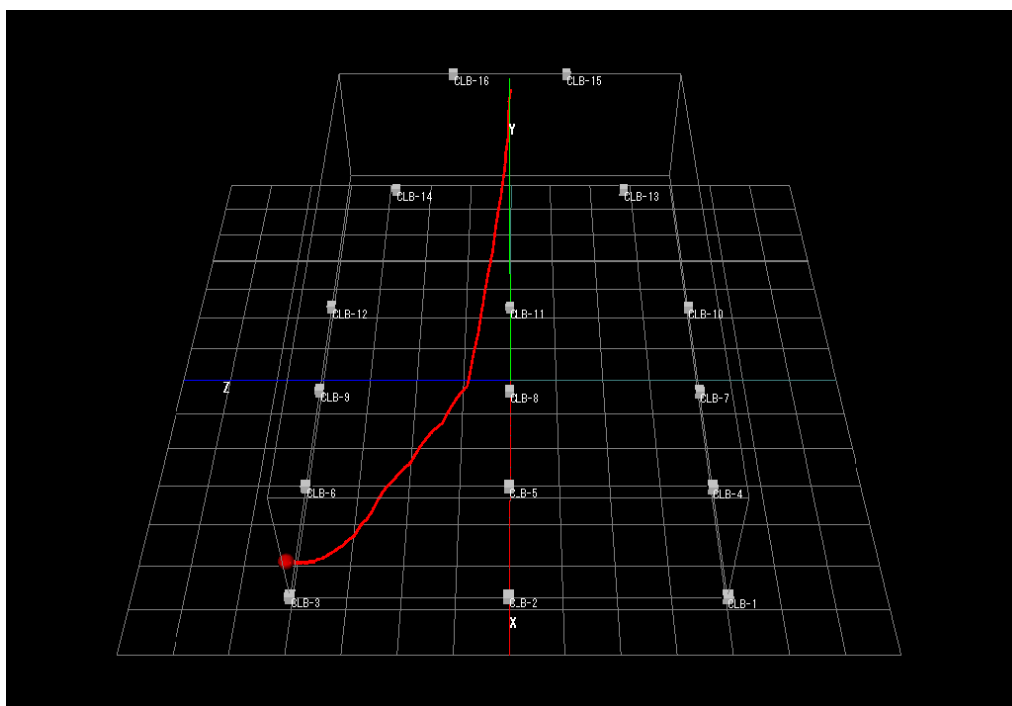


図 3.2.12 試番 1 ケース 2 流路正面 三次元メッシュ図

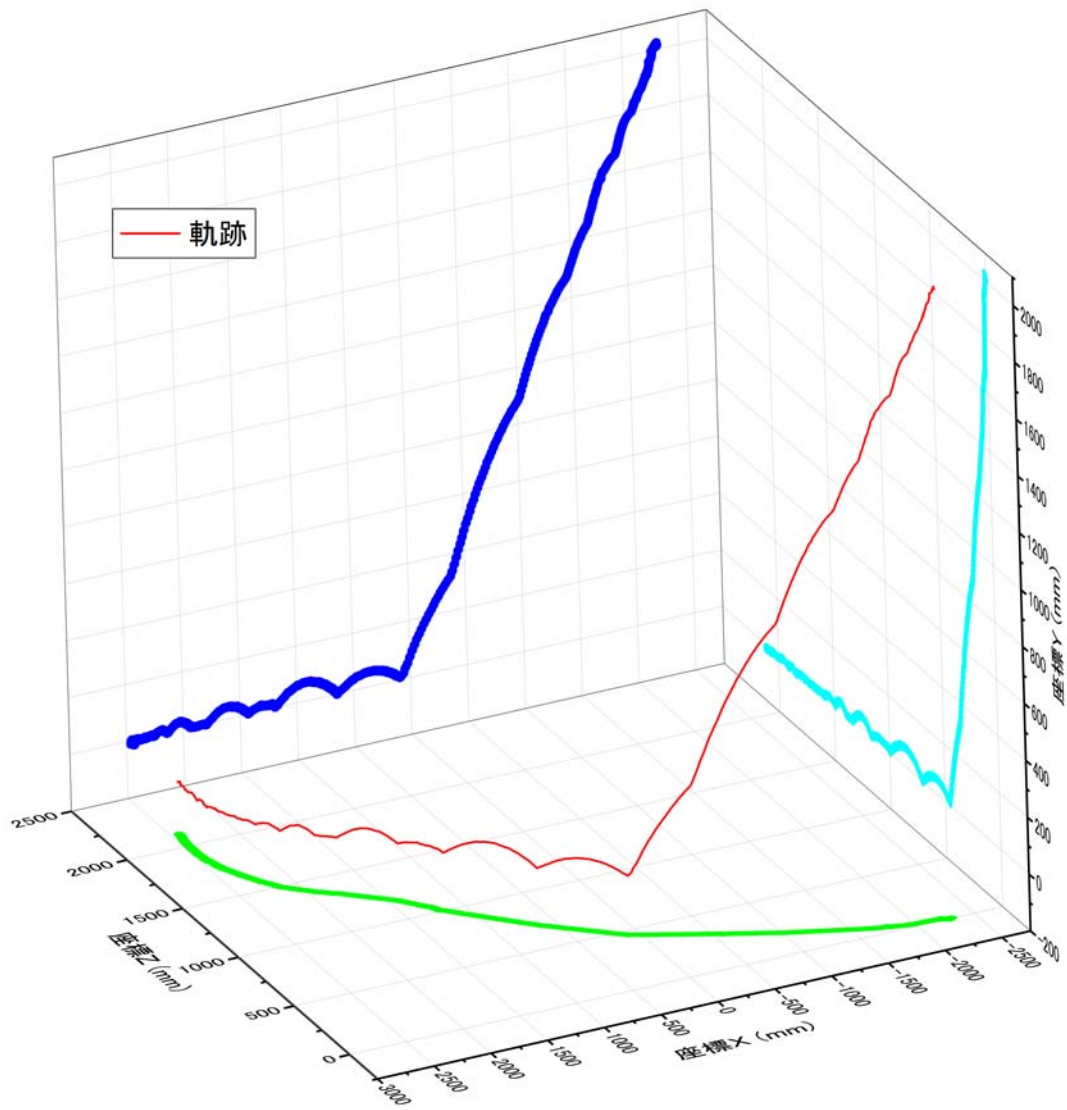


図 3.2.13 試番1 ケース2 三次元変位軌跡

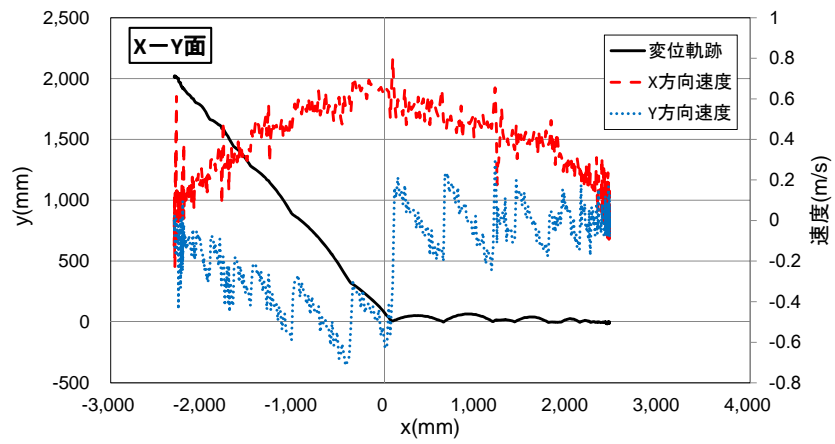


図 3.2.14 試番1 ケース2 二次元変位・速度軌跡 (その1)

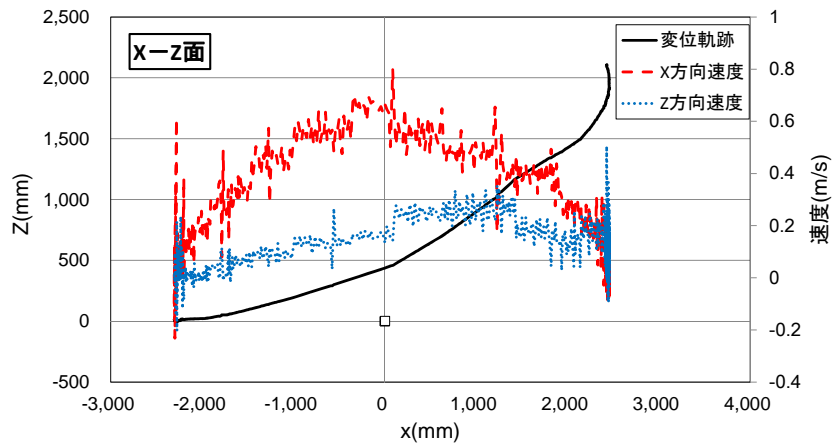


図 3.2.15 試番1 ケース2 二次元変位・速度軌跡 (その2)

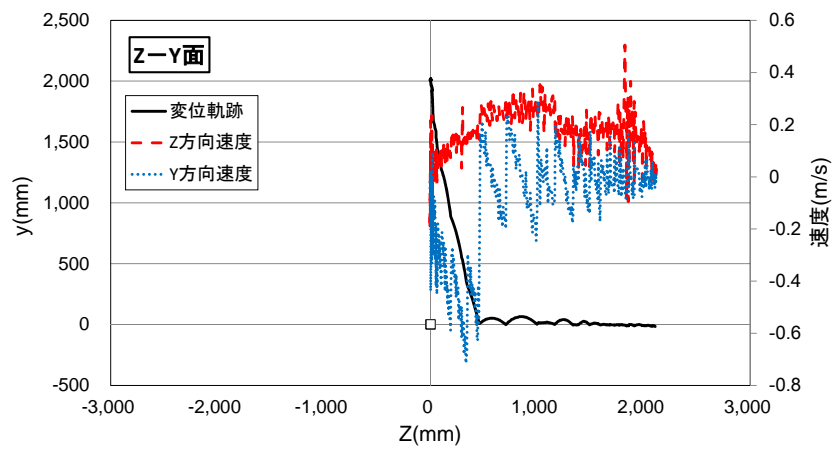


図 3.2.16 試番1 ケース2 二次元変位・速度軌跡 (その3)

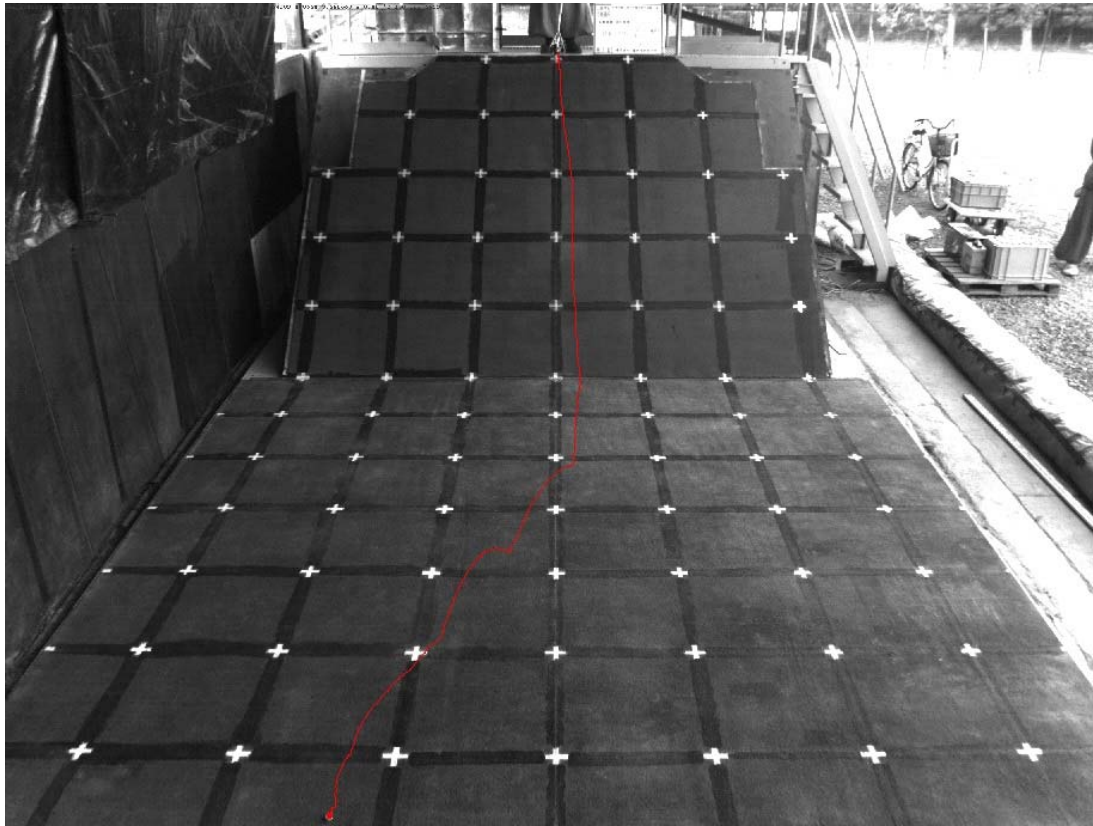


図 3.2.17 試番1 ケース40 流路正面

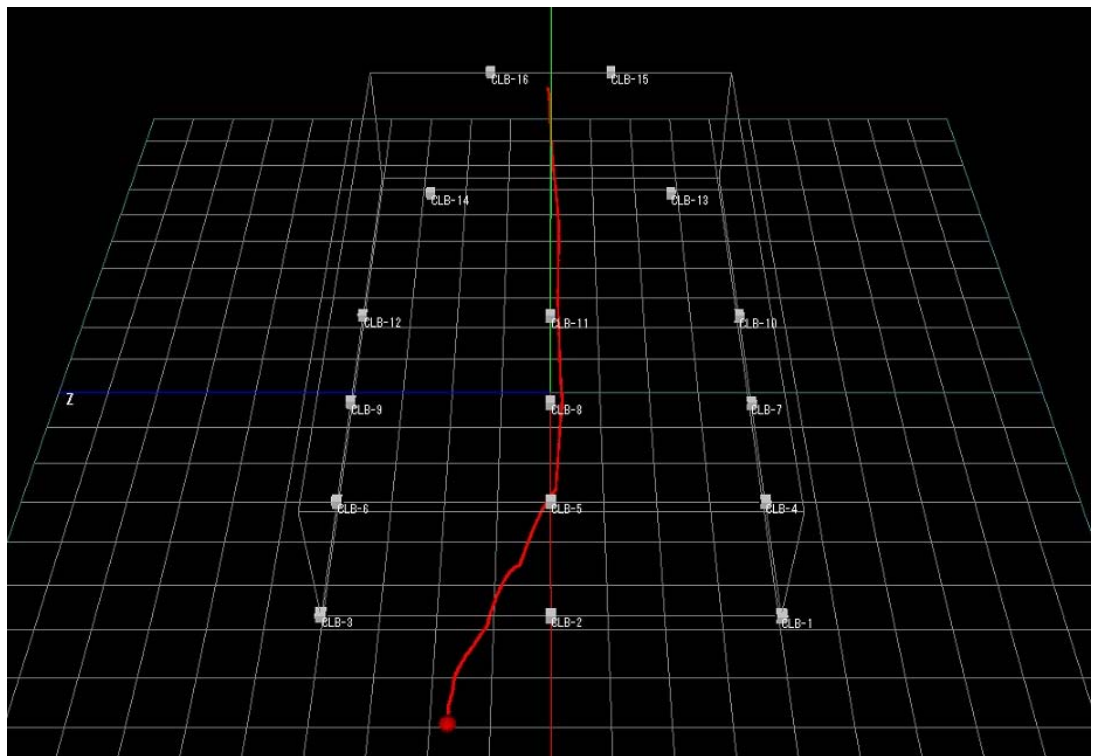


図 3.2.18 試番1 ケース40 流路正面 三次元メッシュ図

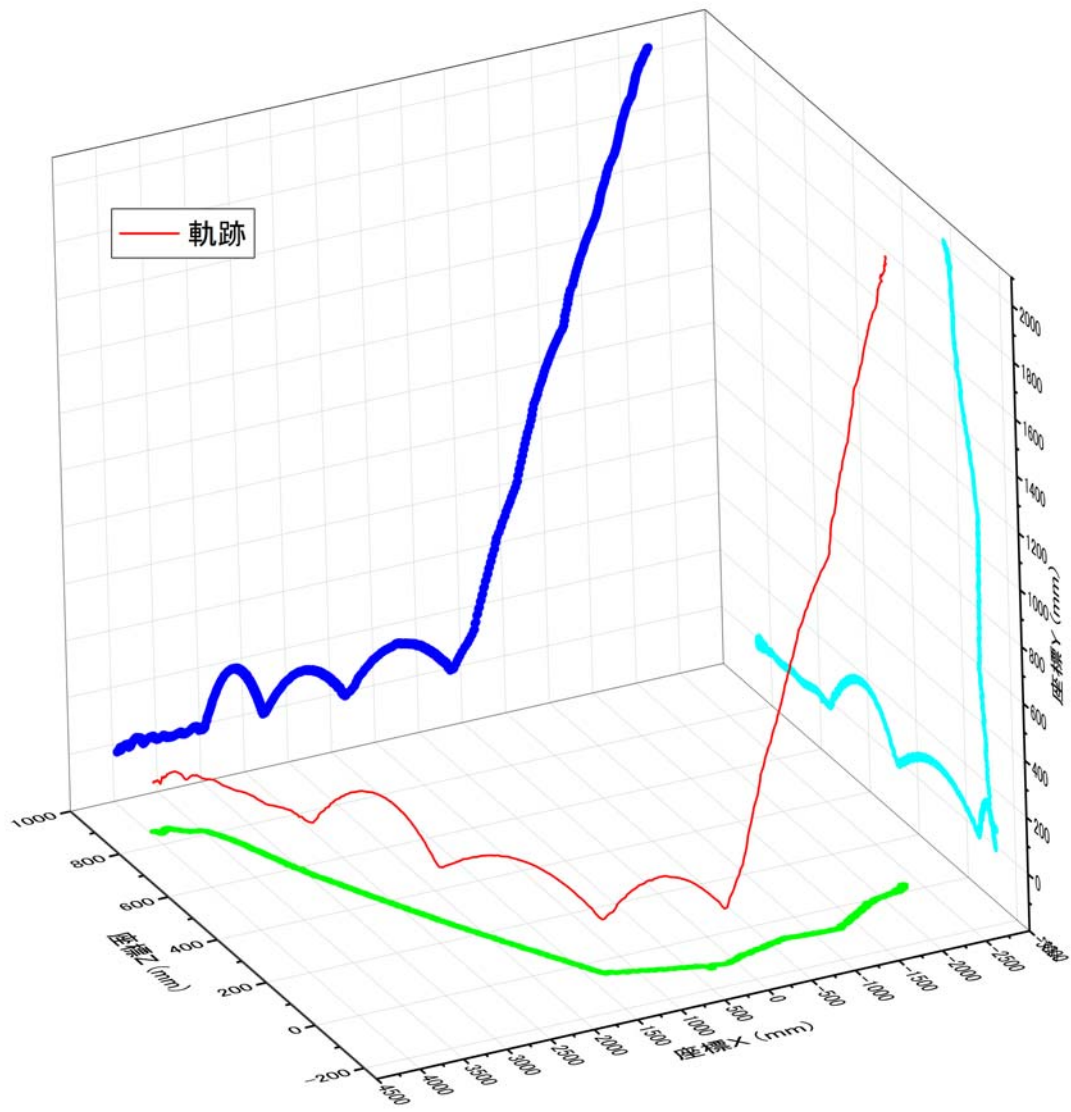


図 3.2.19 試番1 ケース40 三次元変位軌跡

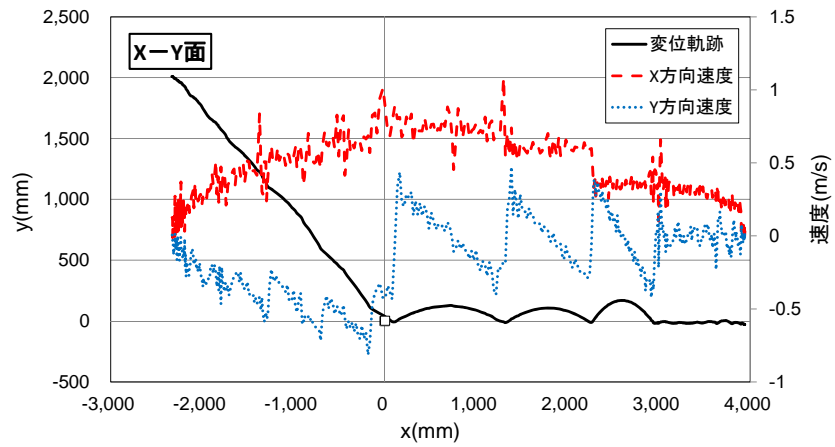


図 3.2.20 試番1 ケース40 二次元変位・速度軌跡 (その1)

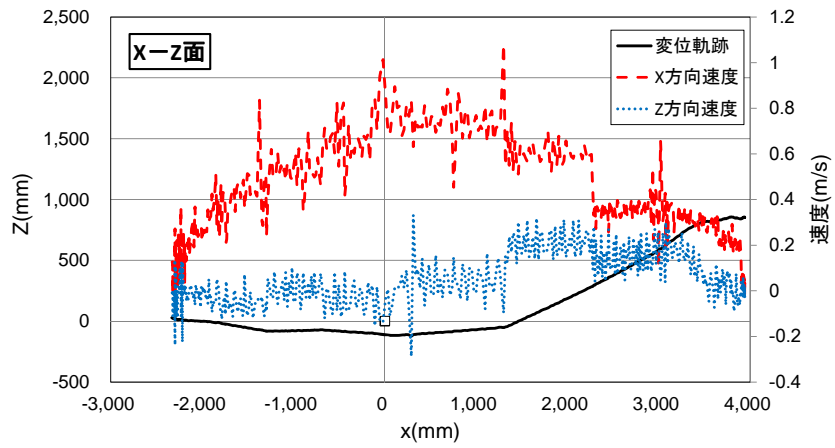


図 3.2.21 試番1 ケース40 二次元変位・速度軌跡 (その2)

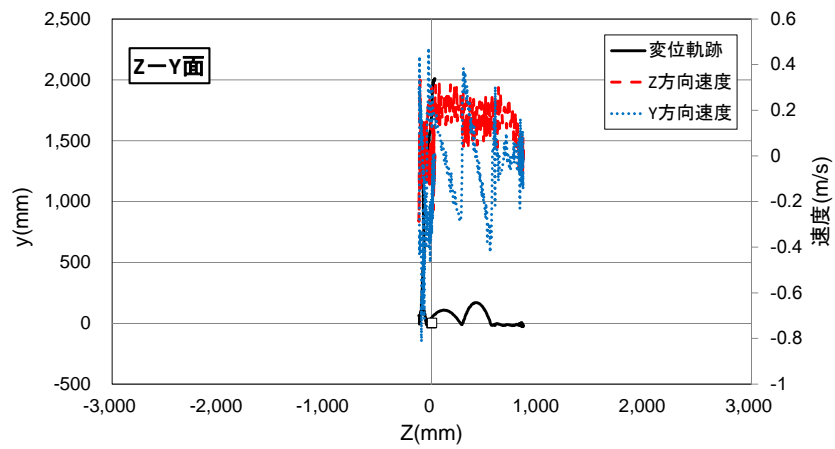


図 3.2.22 試番1 ケース40 二次元変位・速度軌跡 (その3)



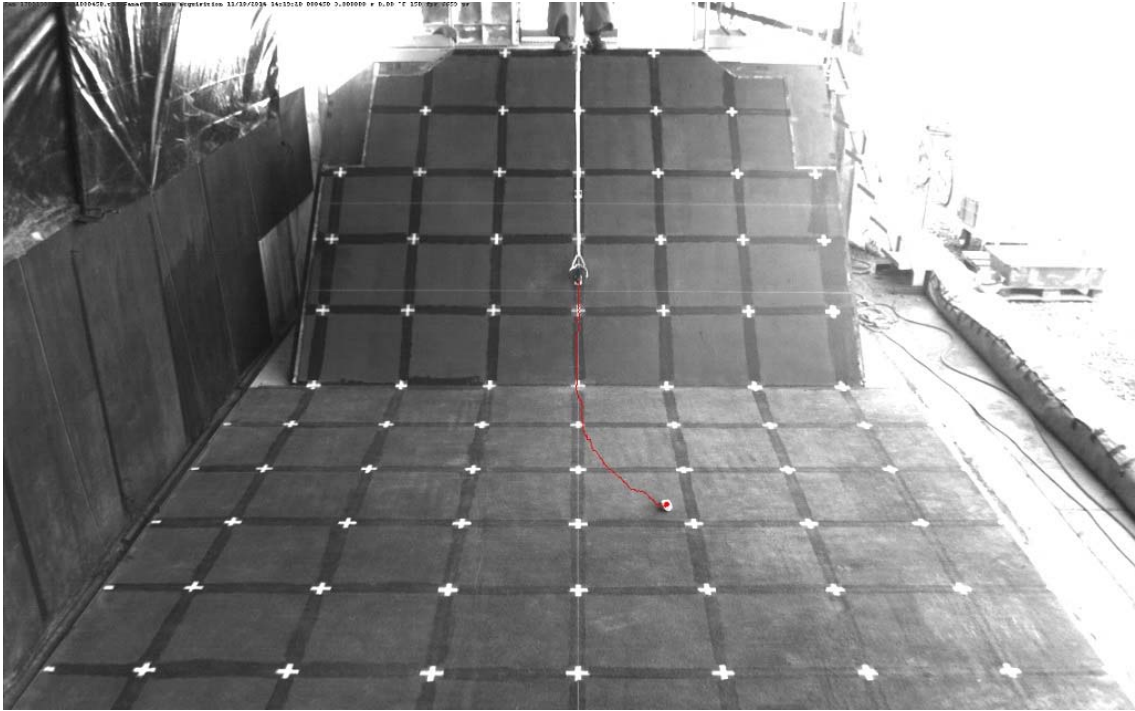


図 3.2.23 試番2 ケース27 流路正面

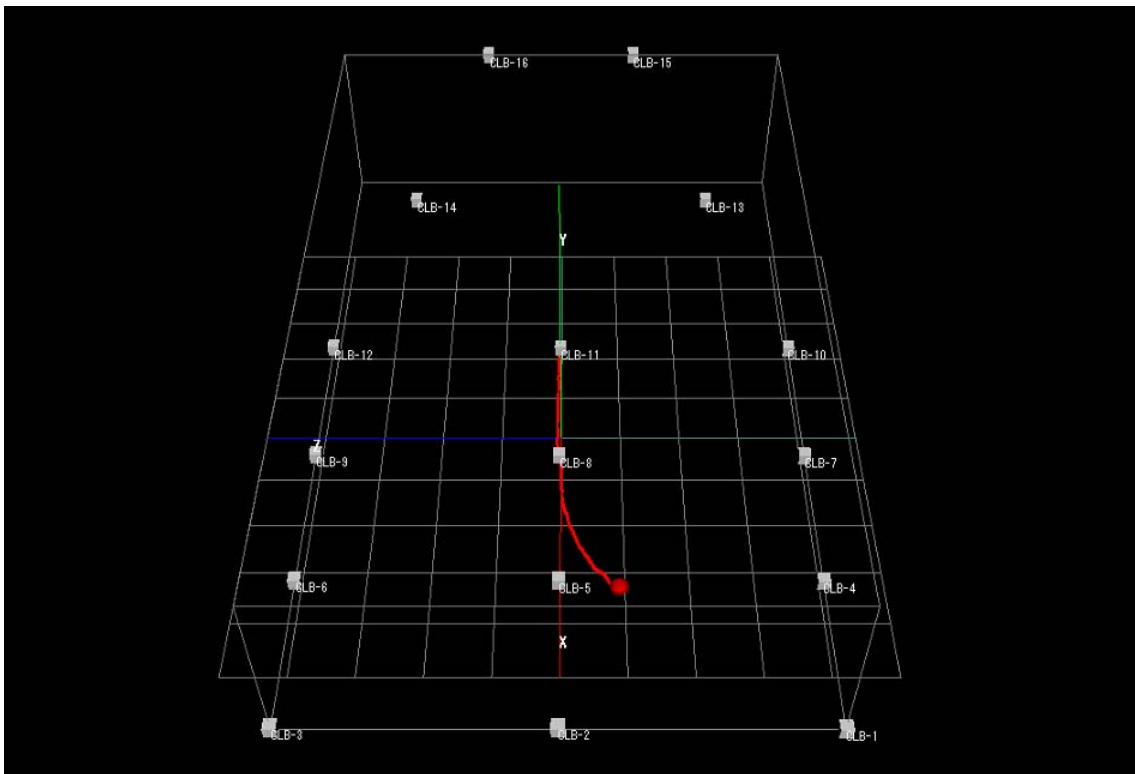


図 3.2.24 試番2 ケース27 流路正面 三次元メッシュ図

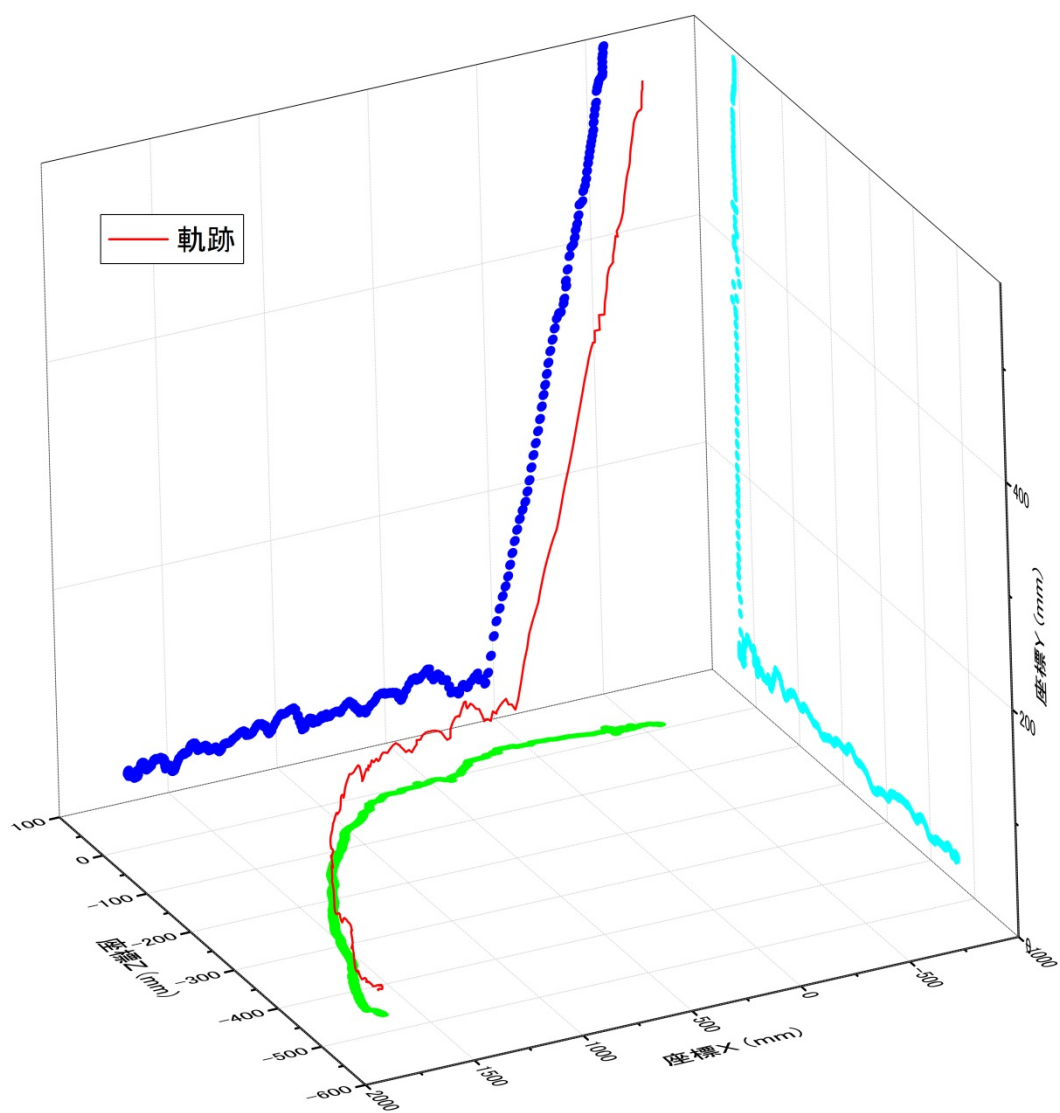


図 3.2.25 試番2 ケース27 三次元変位軌跡



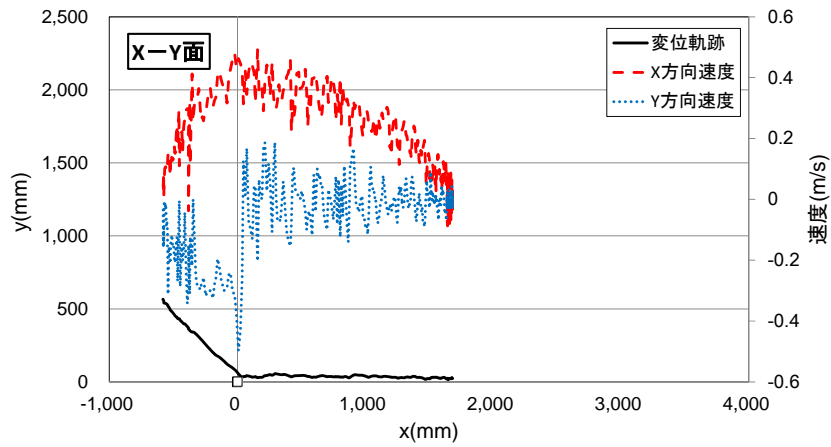


図 3.2.26 試番 2 ケース 27 二次元変位・速度軌跡 (その 1)

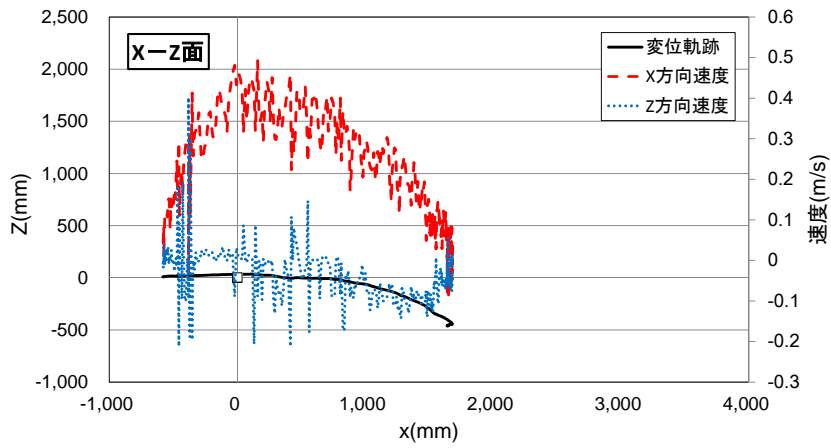


図 3.2.27 試番 2 ケース 27 二次元変位・速度軌跡 (その 2)

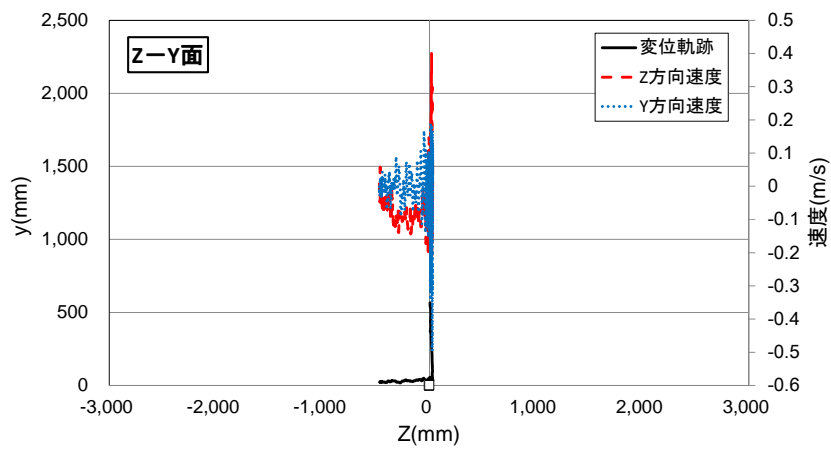


図 3.2.28 試番 2 ケース 27 二次元変位・速度軌跡 (その 3)

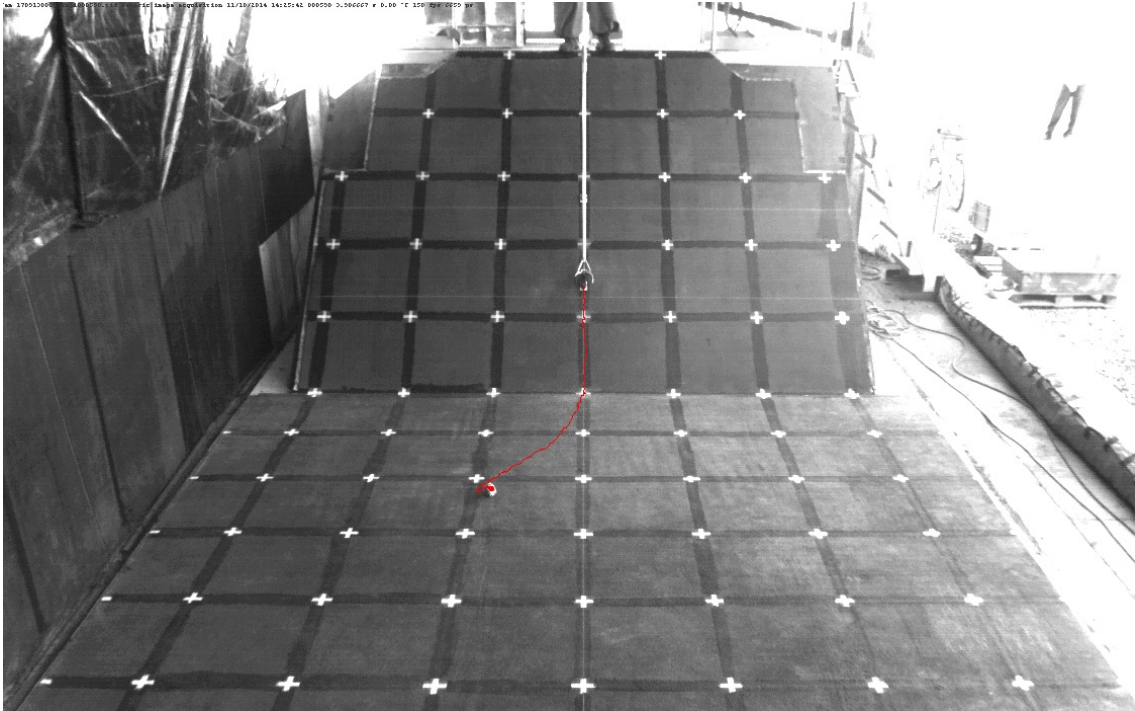


図 3.2.29 試番2 ケース31 流路正面

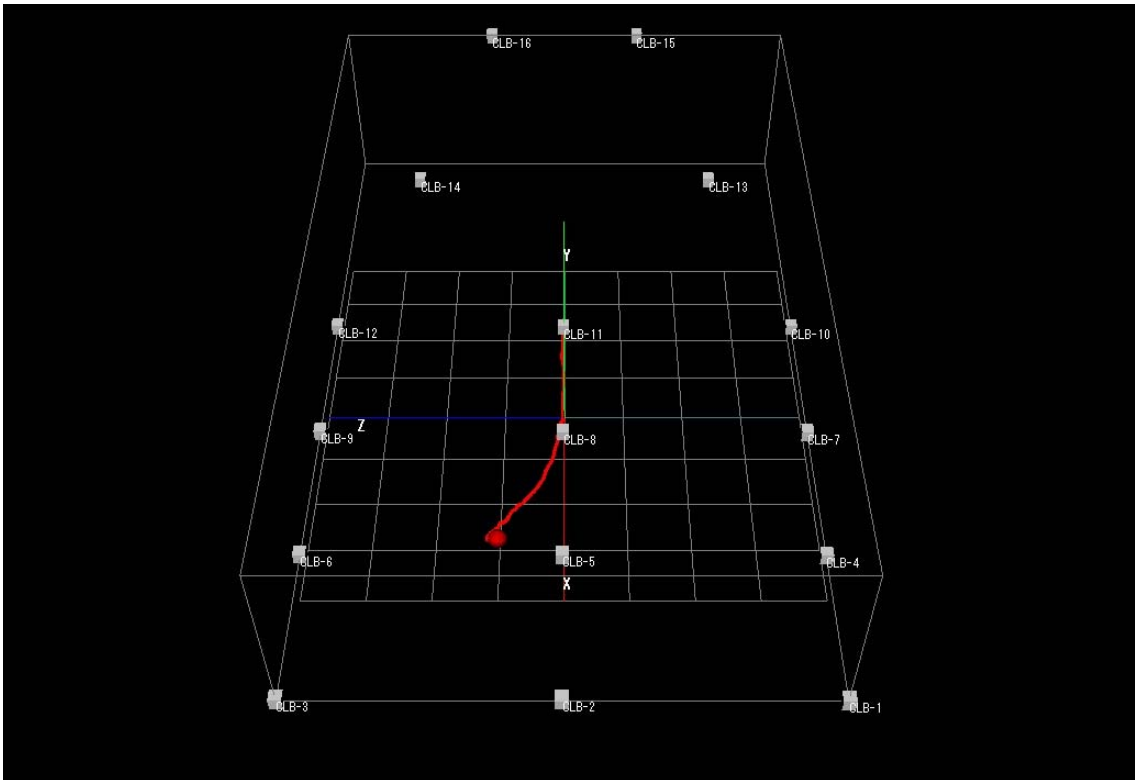


図 3.2.30 試番2 ケース31 流路正面 三次元メッシュ図

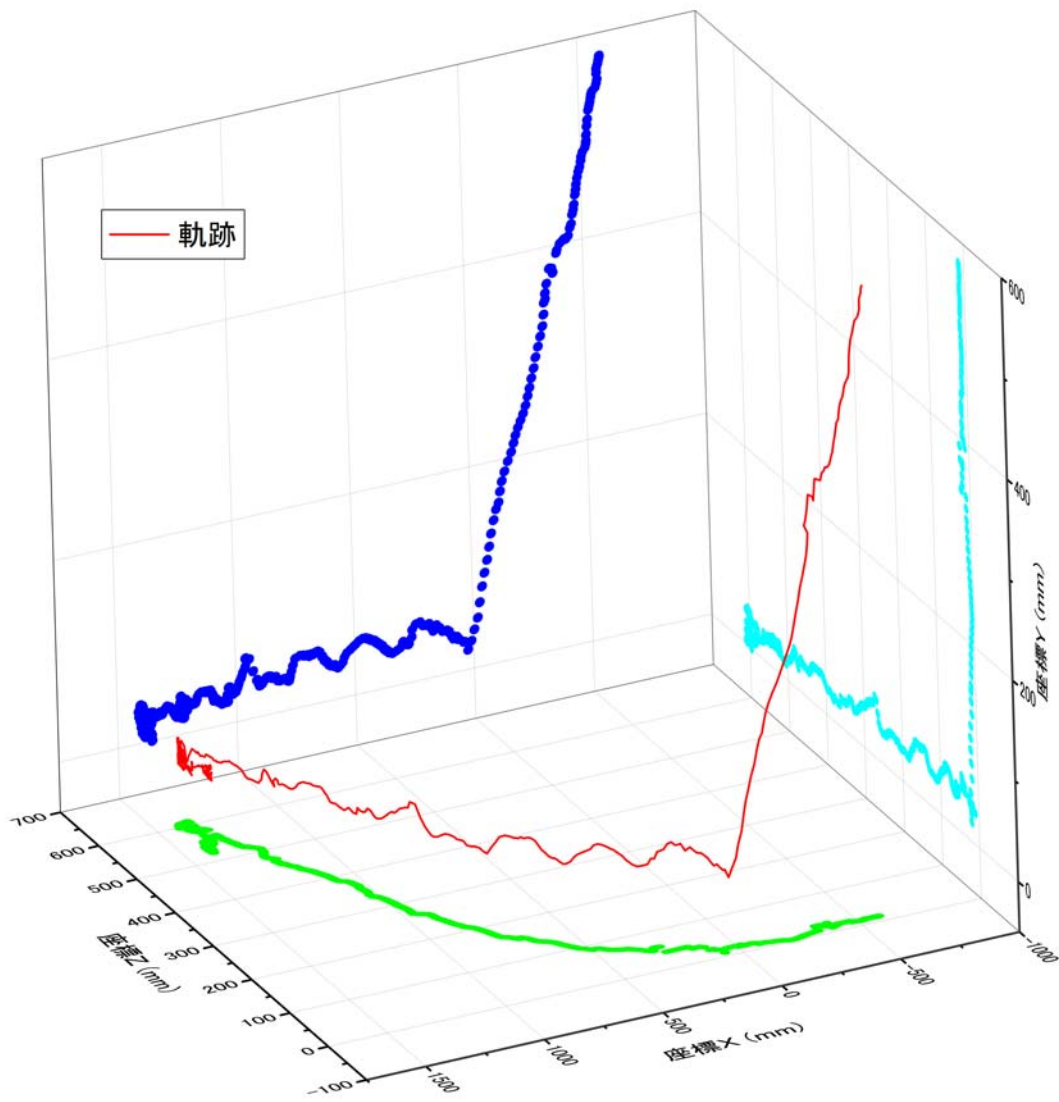


図 3.2.31 試番2 ケース31 三次元変位軌跡

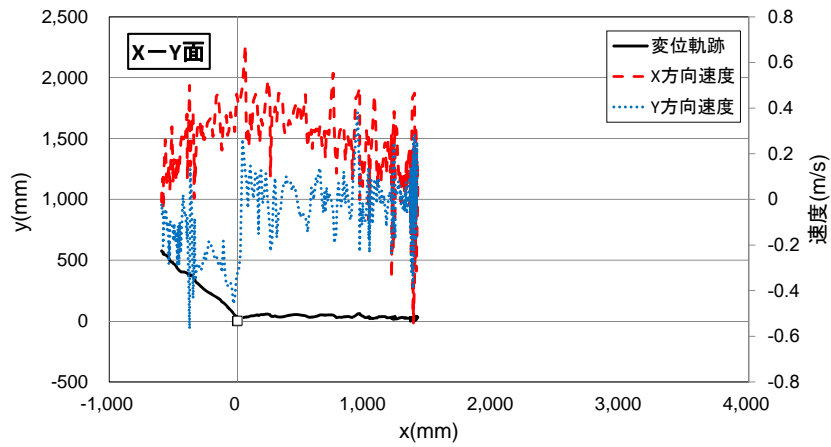


図 3.2.32 試番2 ケース31 二次元変位・速度軌跡 (その1)

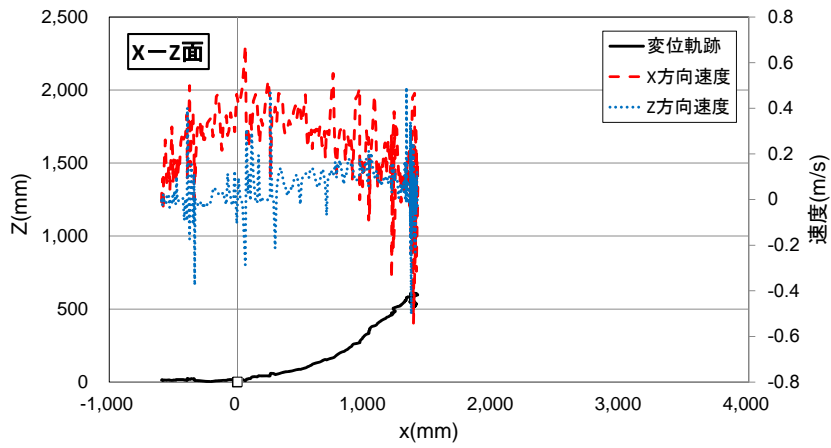


図 3.2.33 試番2 ケース31 二次元変位・速度軌跡 (その2)

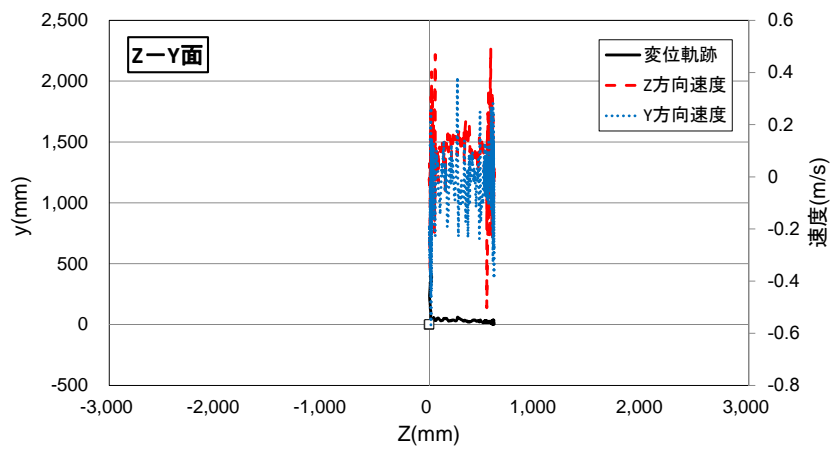


図 3.2.34 試番2 ケース31 二次元変位・速度軌跡 (その3)

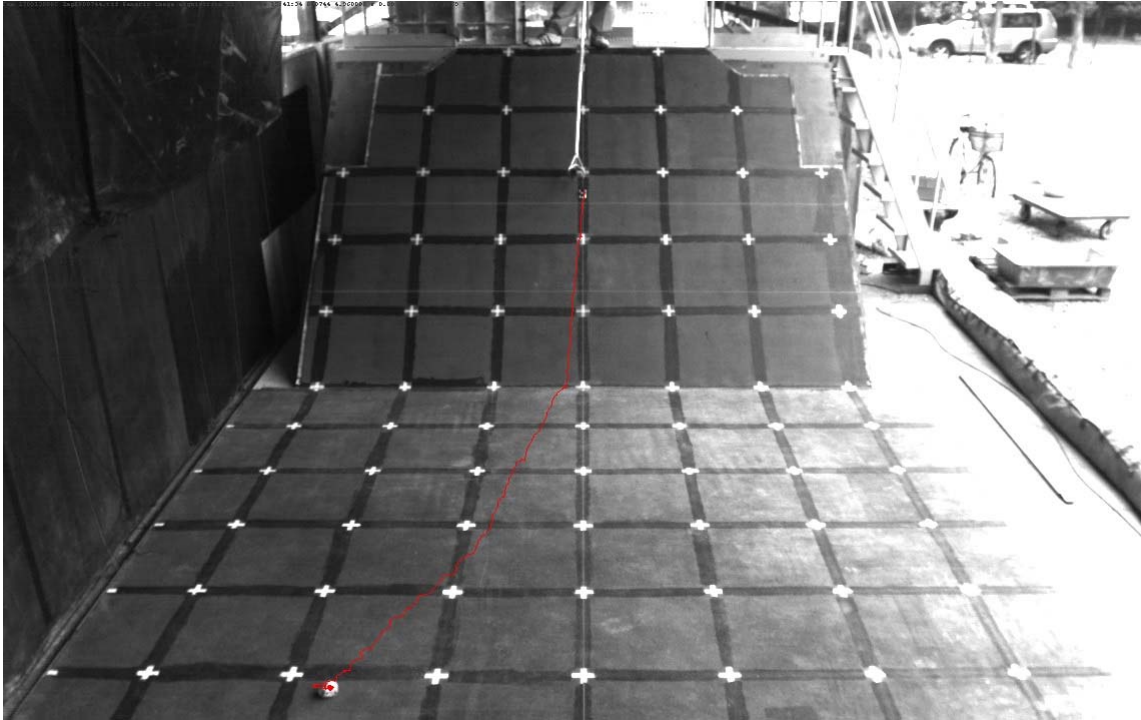


図 3.2.35 試番3 ケース16 流路正面

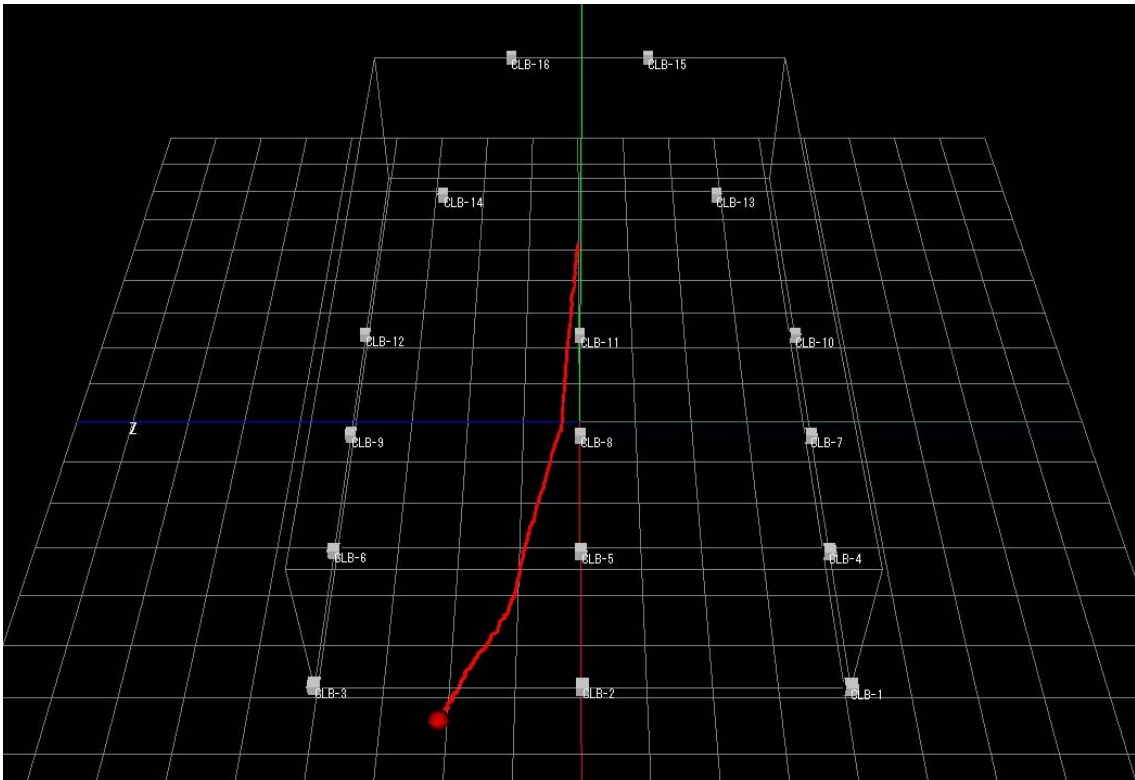


図 3.2.36 試番3 ケース16 流路正面 三次元メッシュ図

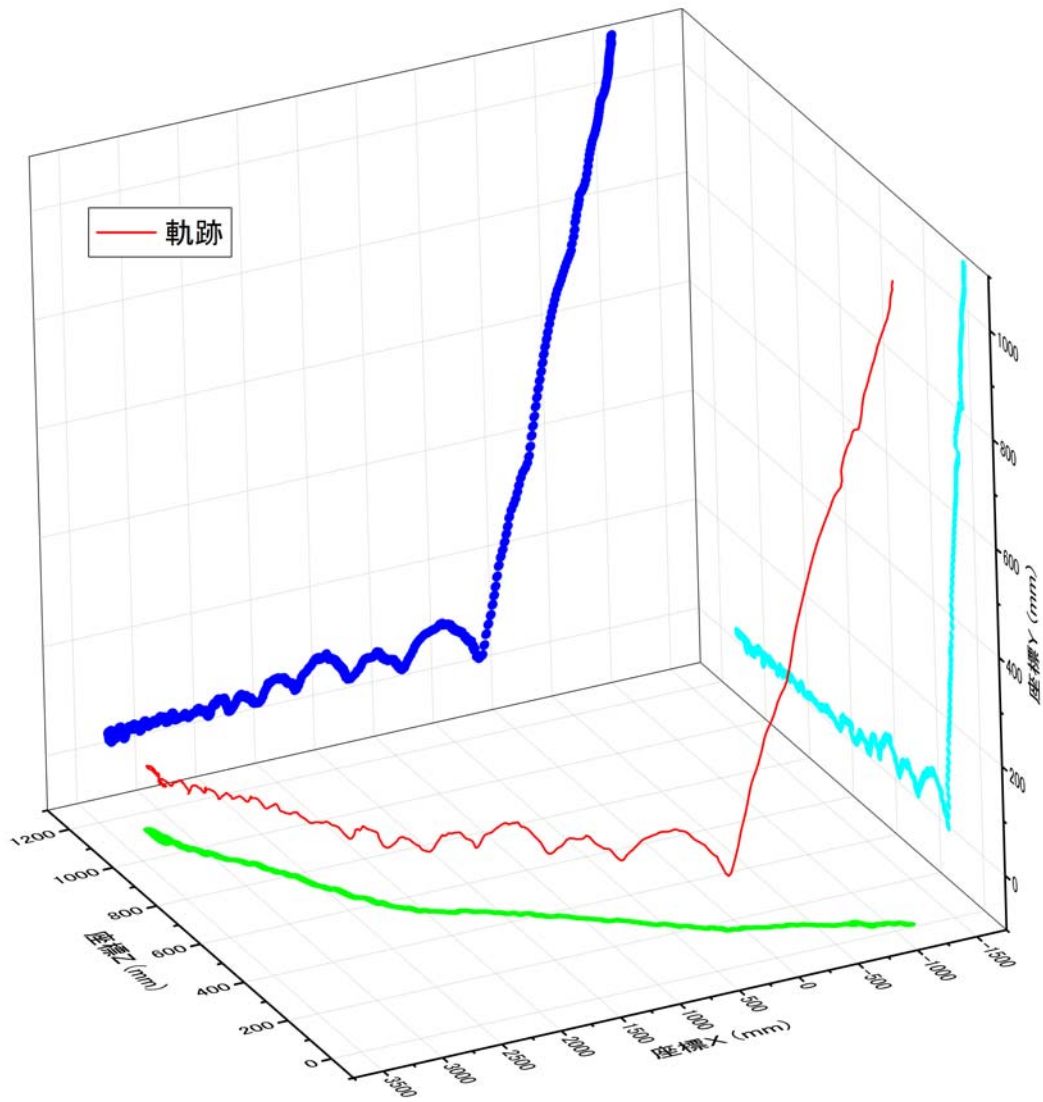


図 3.2.37 試番3 ケース16 三次元変位軌跡

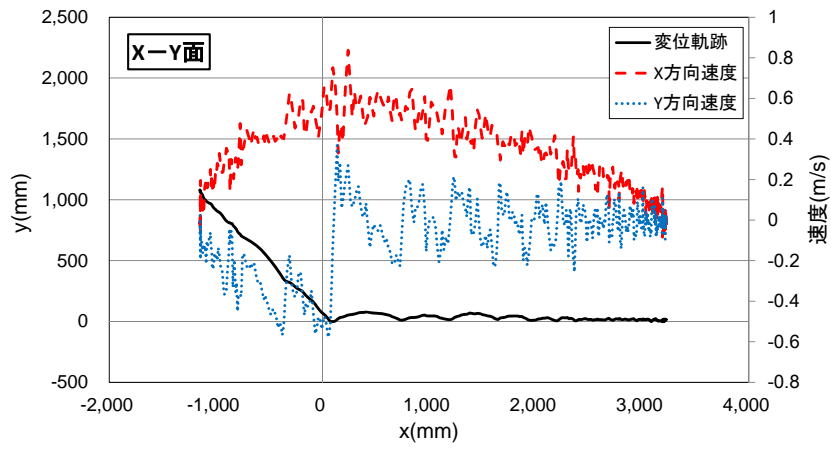


図 3. 2. 38 試番 3 ケース 16 二次元変位・速度軌跡 (その 1)

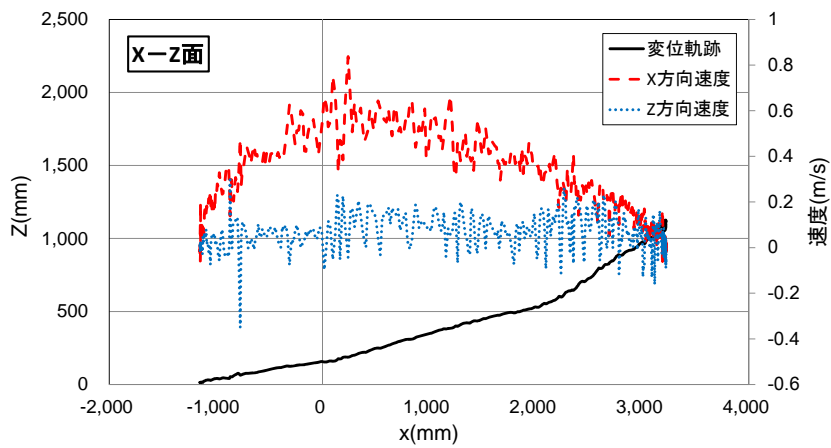


図 3. 2. 39 試番 3 ケース 16 二次元変位・速度軌跡 (その 2)

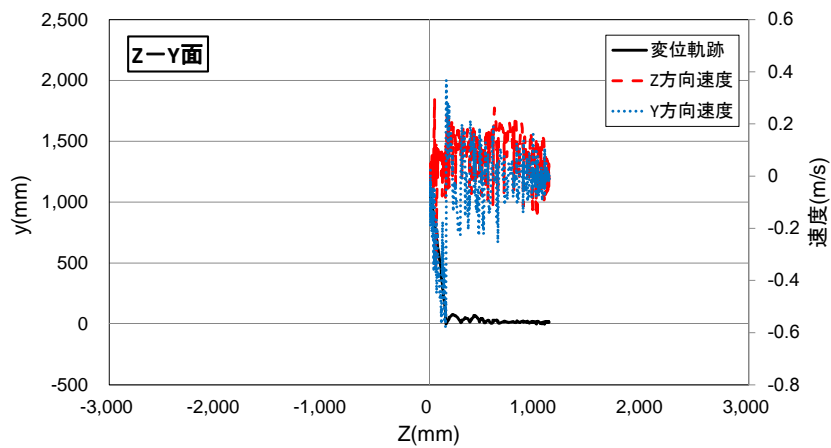


図 3. 2. 40 試番 3 ケース 16 二次元変位・速度軌跡 (その 3)



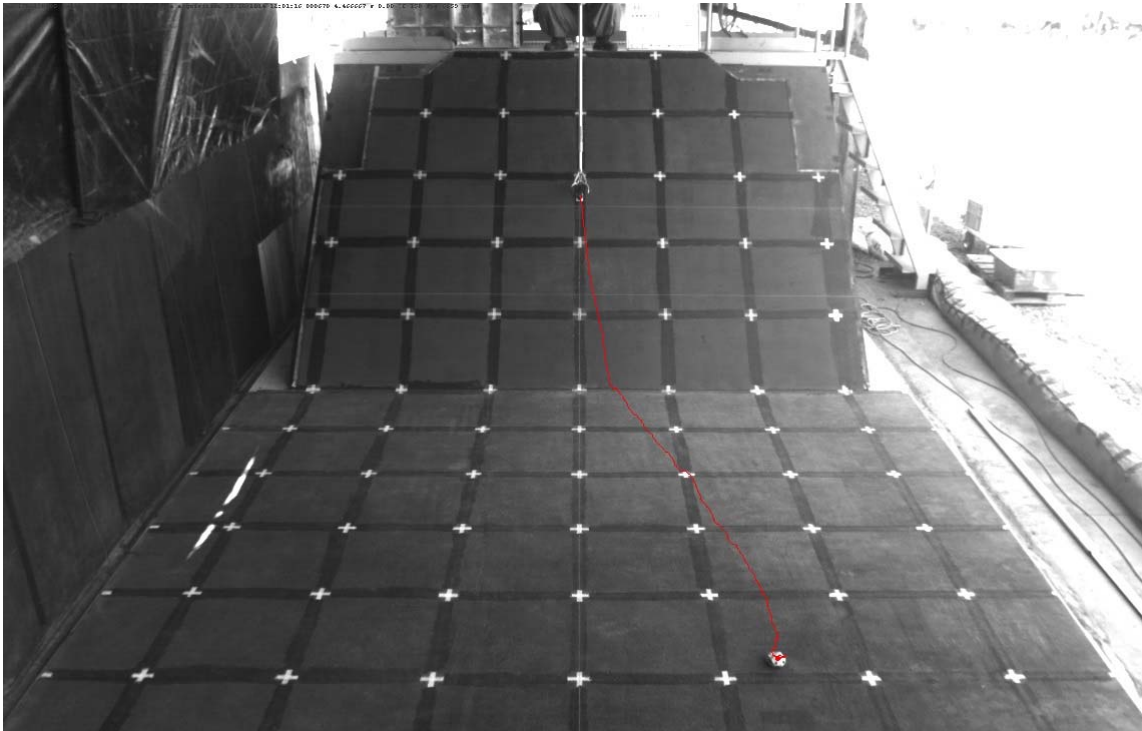


図 3.2.41 試番3 ケース34 流路正面

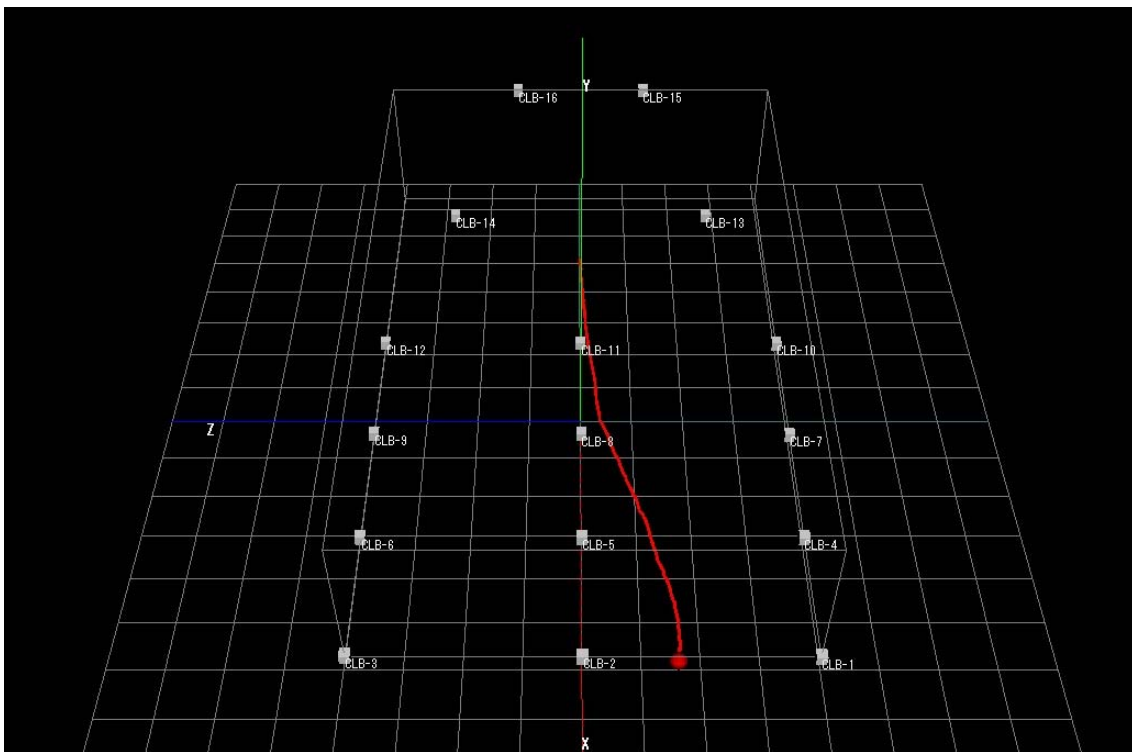


図 3.2.42 試番3 ケース34 流路正面 三次元メッシュ図



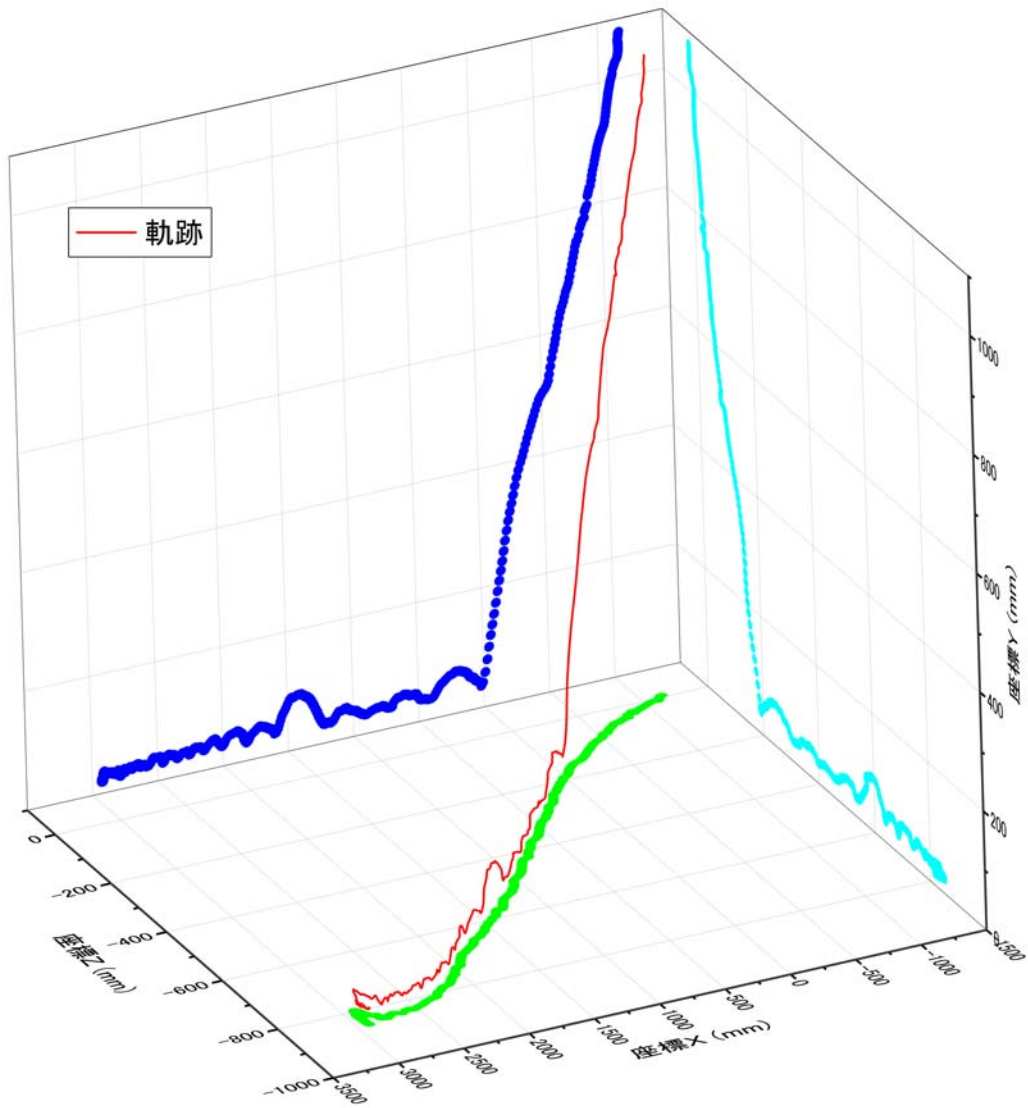


図 3.2.43 試番3 ケース34 三次元変位軌跡

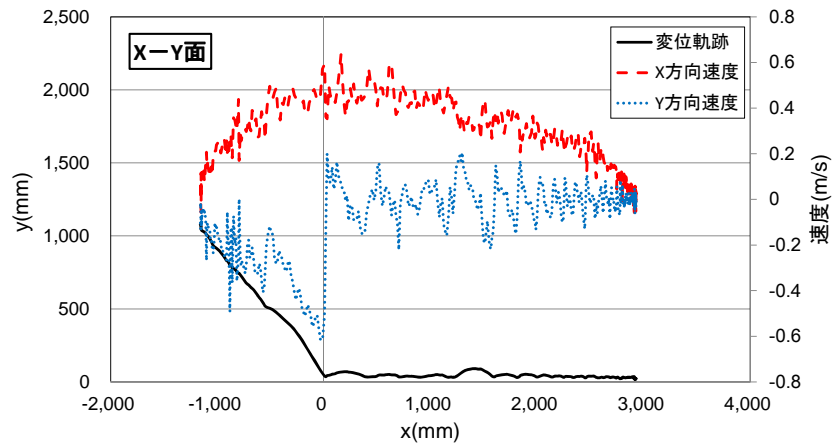


図 3.2.44 試番3 ケース34 二次元変位・速度軌跡 (その1)

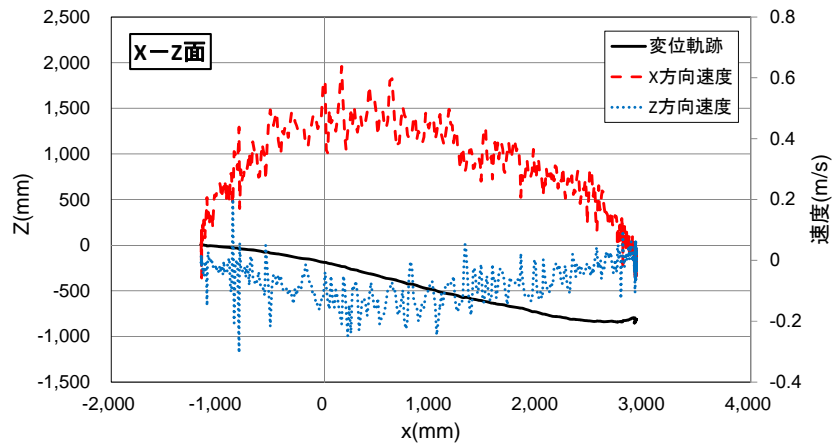


図 3.2.45 試番3 ケース34 二次元変位・速度軌跡 (その2)

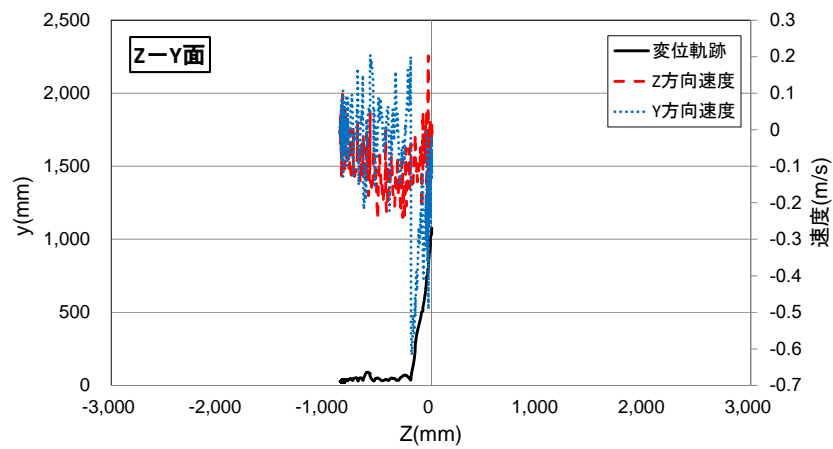


図 3.2.46 試番3 ケース34 二次元変位・速度軌跡 (その3)

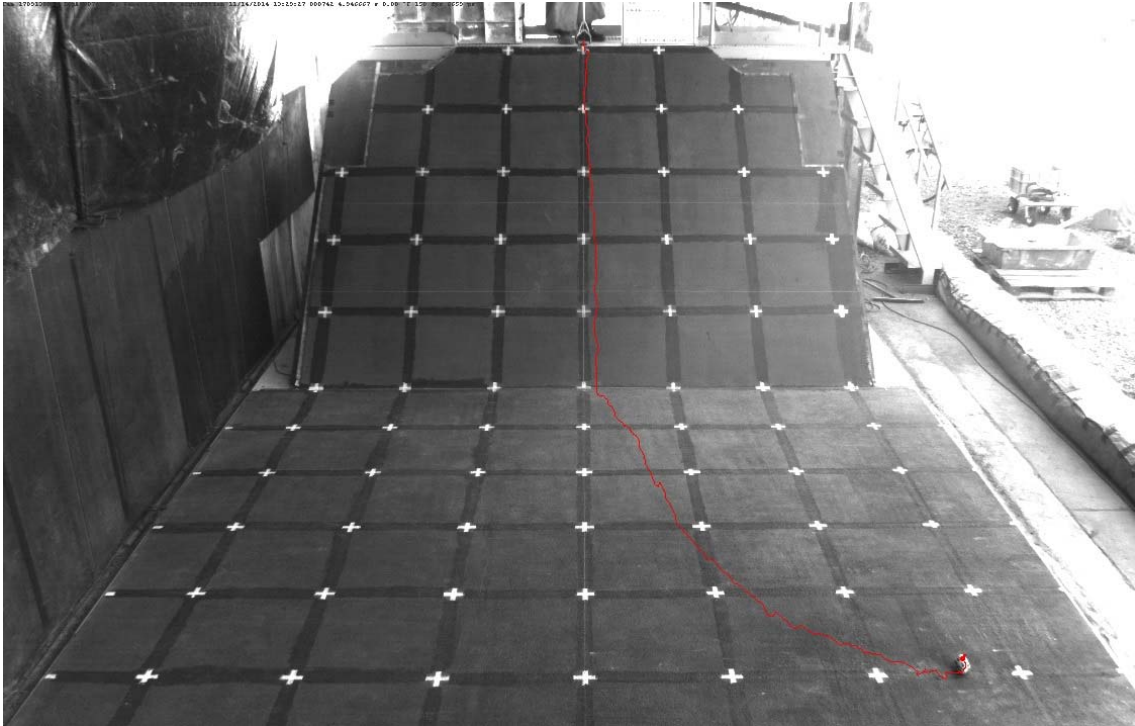


図 3.2.47 試番4 ケース11 流路正面

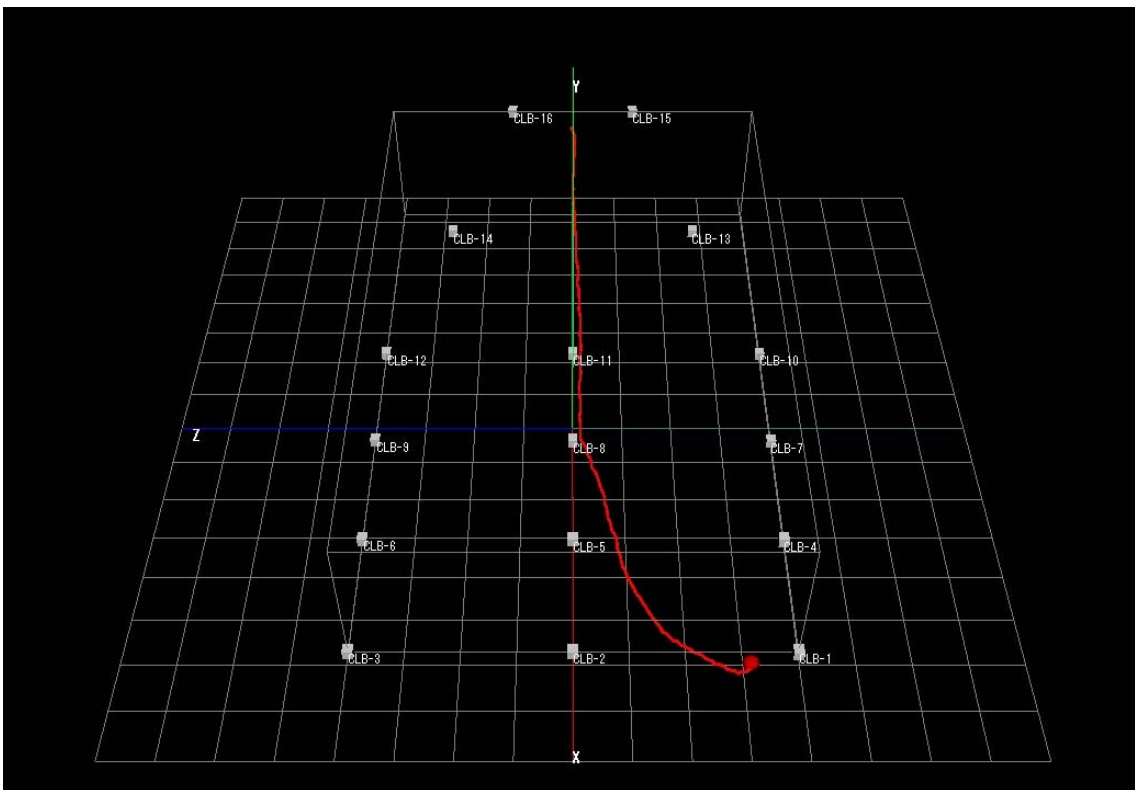


図 3.2.48 試番4 ケース11 流路正面 三次元メッシュ図

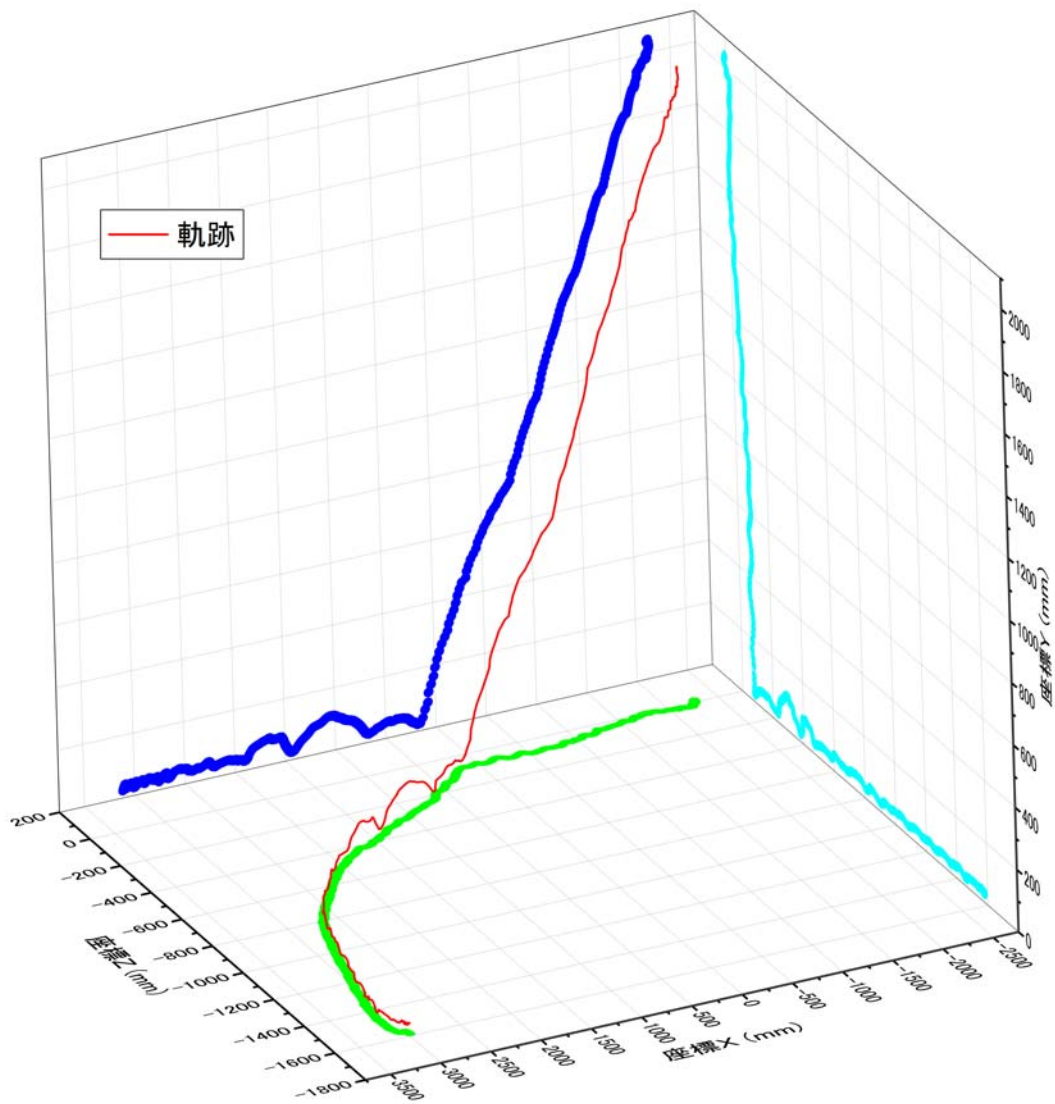


図 3.2.49 試番4 ケース11 三次元変位軌跡

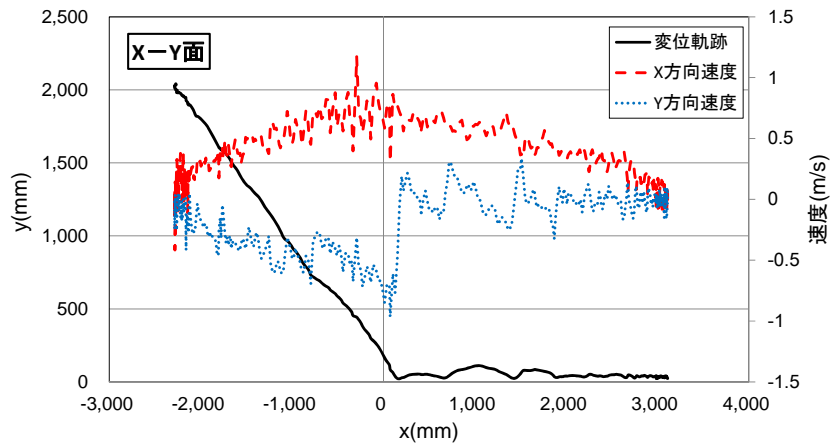


図 3.2.50 試番4 ケース11 二次元変位・速度軌跡 (その1)

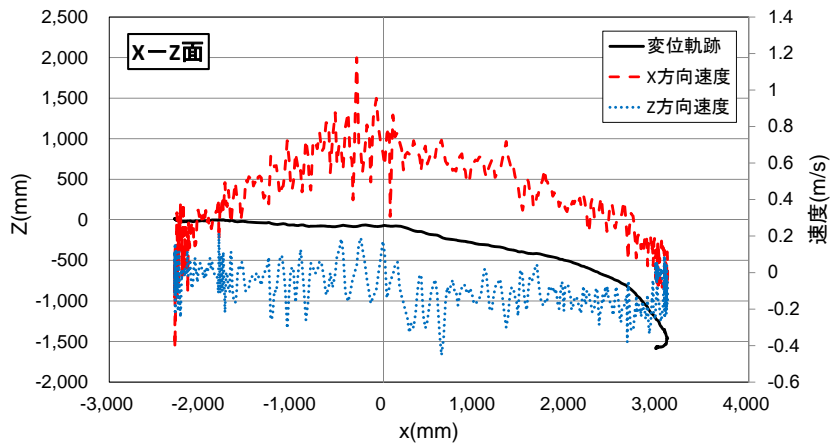


図 3.2.51 試番4 ケース11 二次元変位・速度軌跡 (その2)

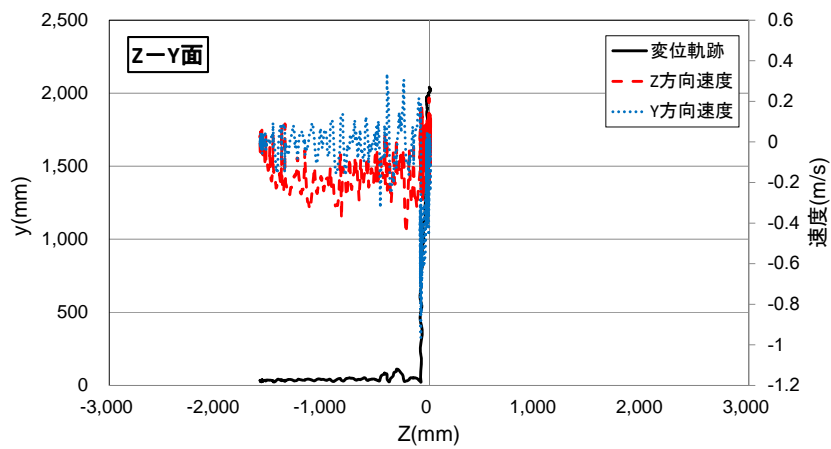


図 3.2.52 試番4 ケース11 二次元変位・速度軌跡 (その3)

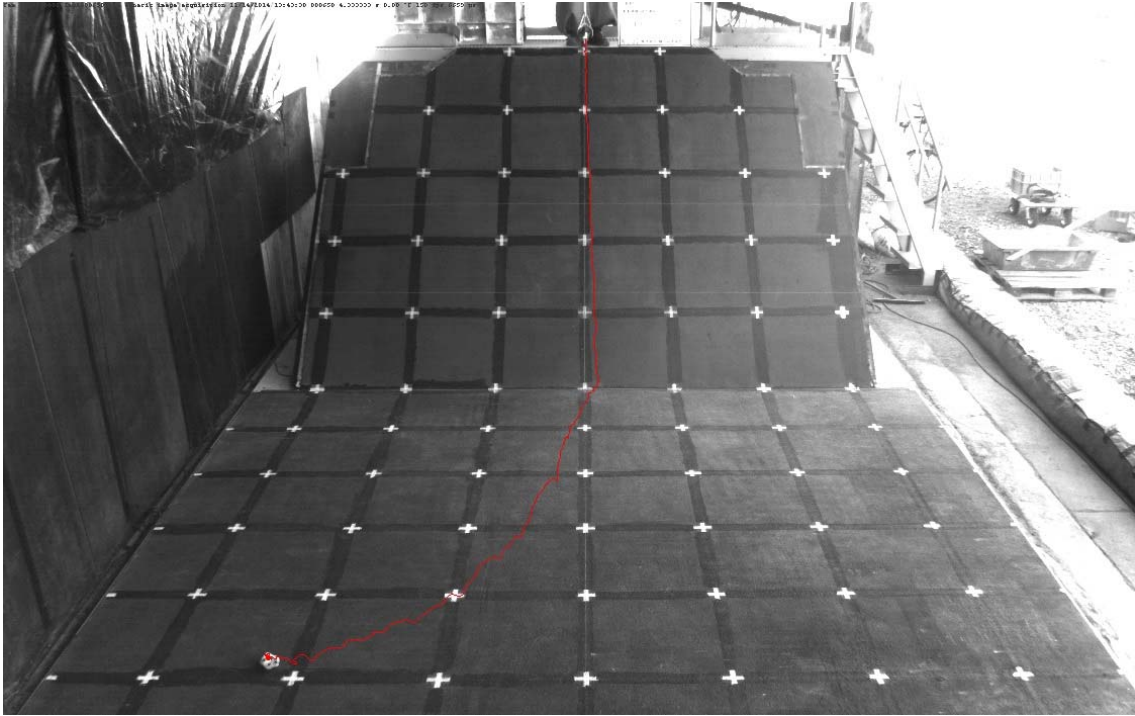


図 3.2.53 試番4 ケース16 流路正面

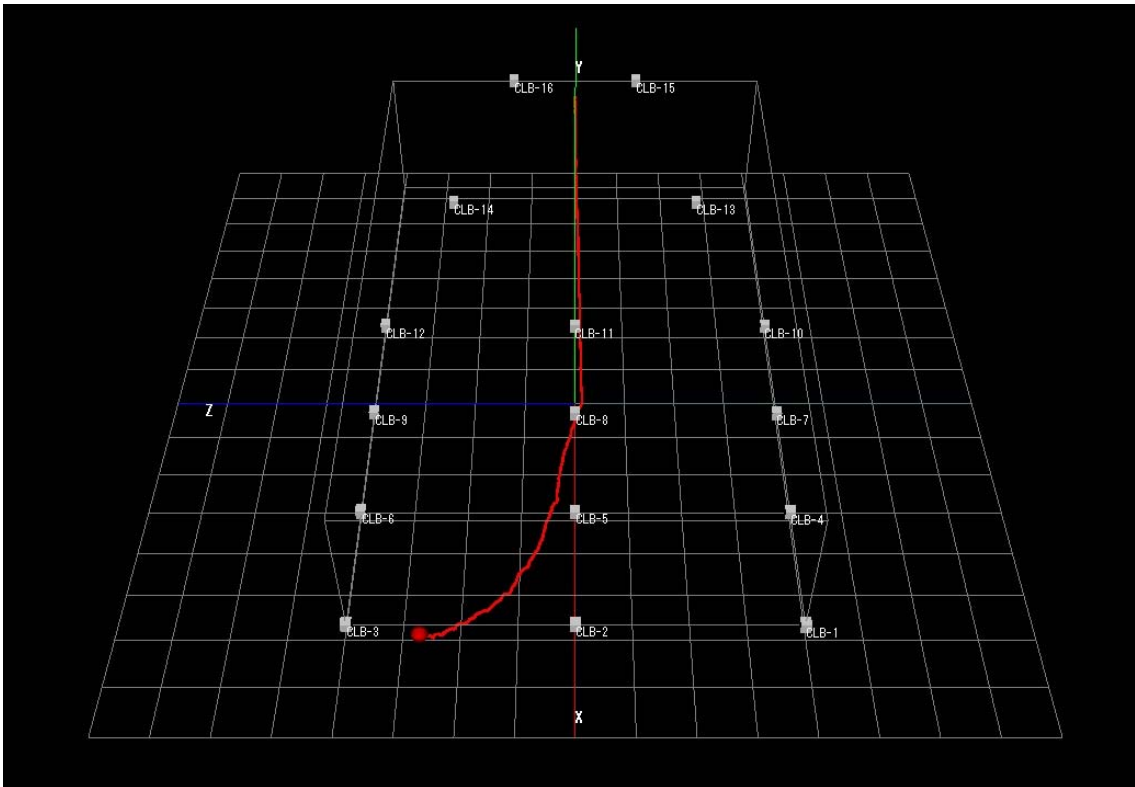


図 3.2.54 試番4 ケース16 流路正面 三次元メッシュ図

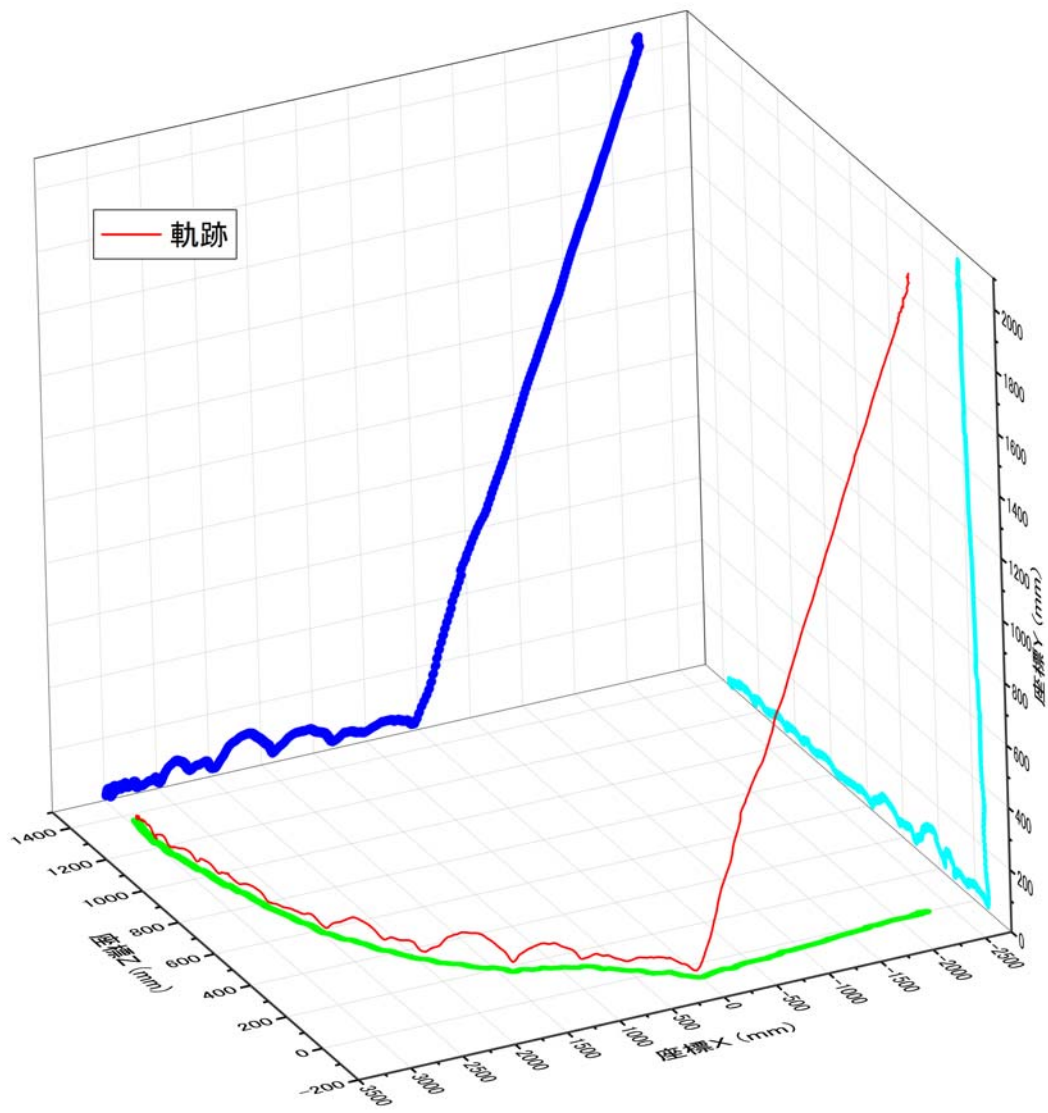


図 3.2.55 試番4 ケース16 三次元変位軌跡



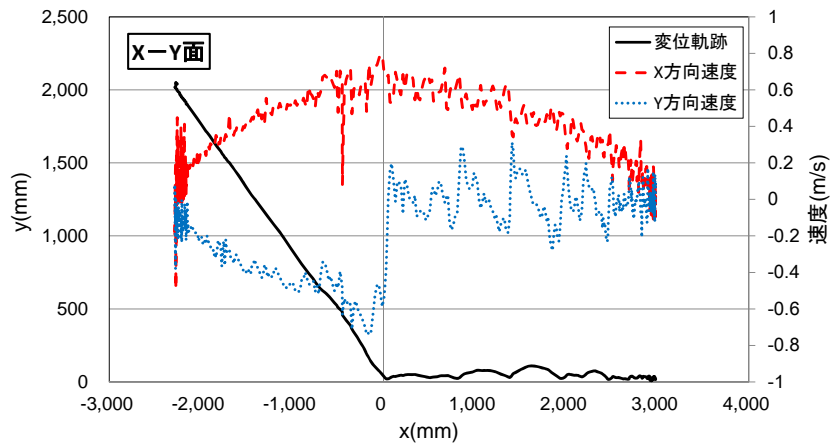


図 3.2.56 試番4 ケース16 二次元変位・速度軌跡 (その1)

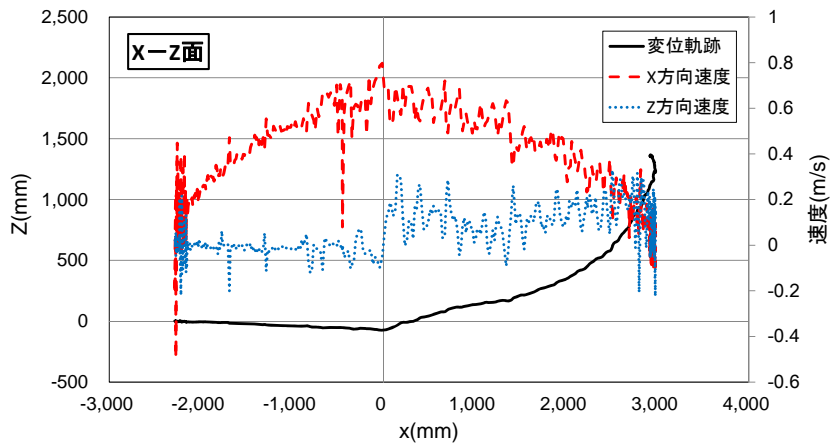


図 3.2.57 試番4 ケース16 二次元変位・速度軌跡 (その2)

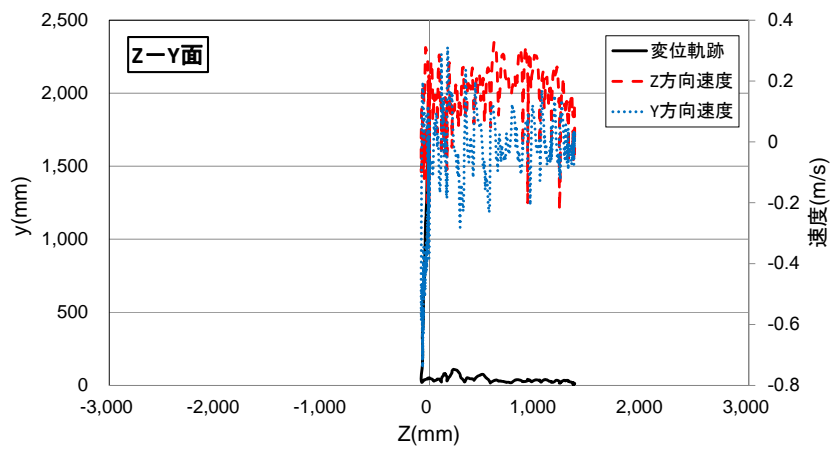


図 3.2.58 試番4 ケース16 二次元変位・速度軌跡 (その3)



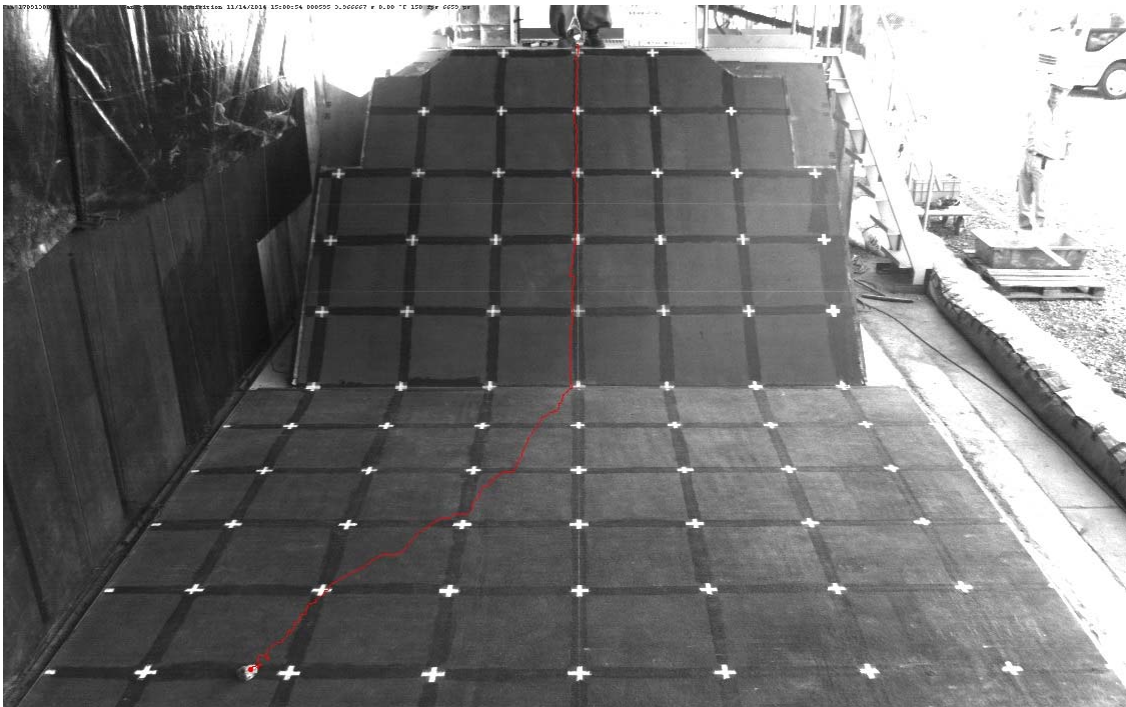


図 3.2.59 試番4 ケース23 流路正面

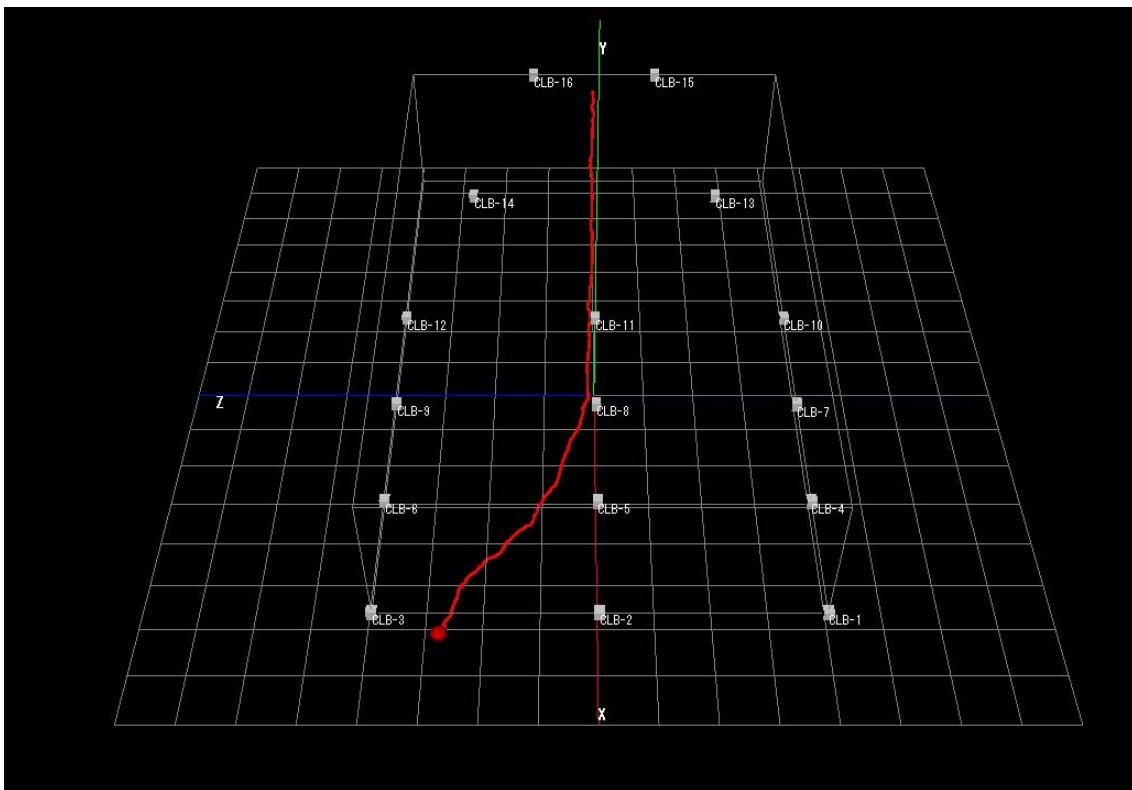


図 3.2.60 試番4 ケース23 流路正面 三次元メッシュ図

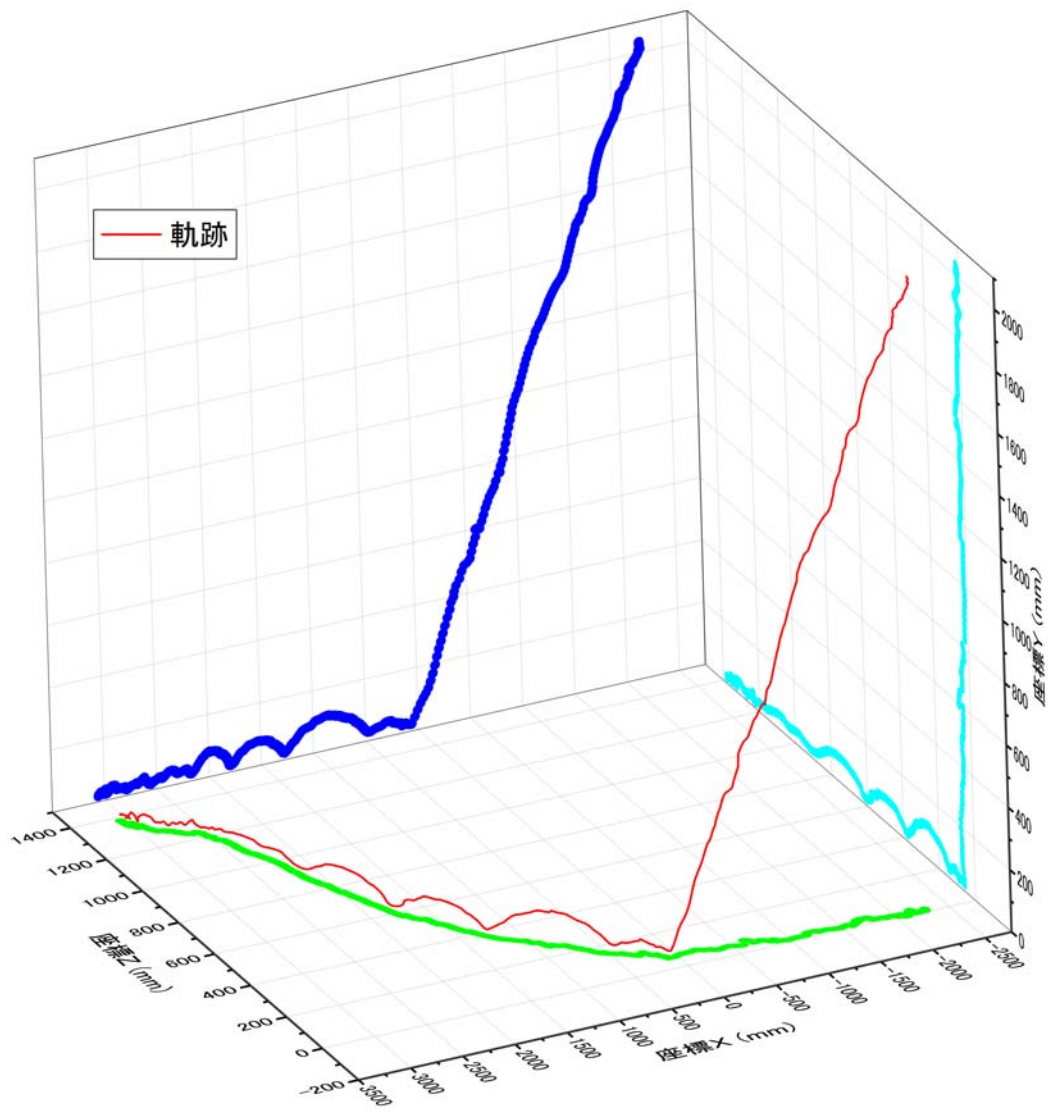


図 3.2.61 試番4 ケース23 三次元変位軌跡

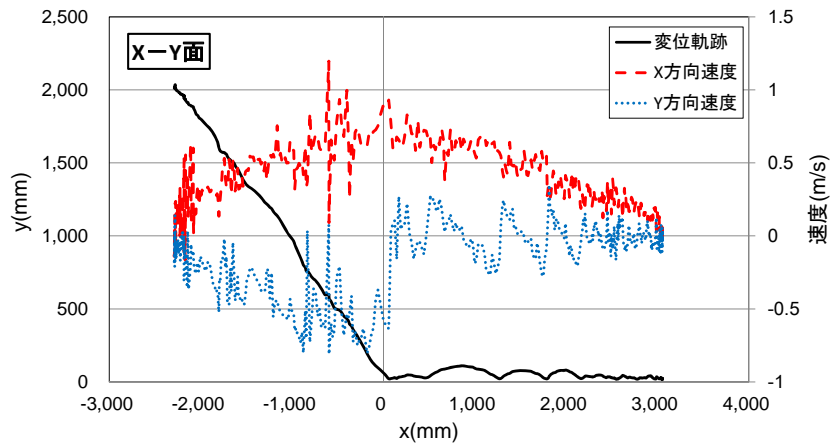


図 3.2.62 試番 4 ケース 23 二次元変位・速度軌跡 (その 1)

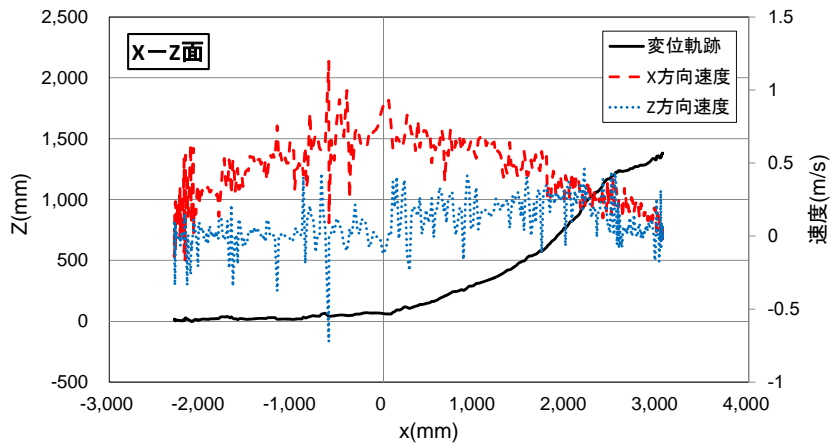


図 3.2.63 試番 4 ケース 23 二次元変位・速度軌跡 (その 2)

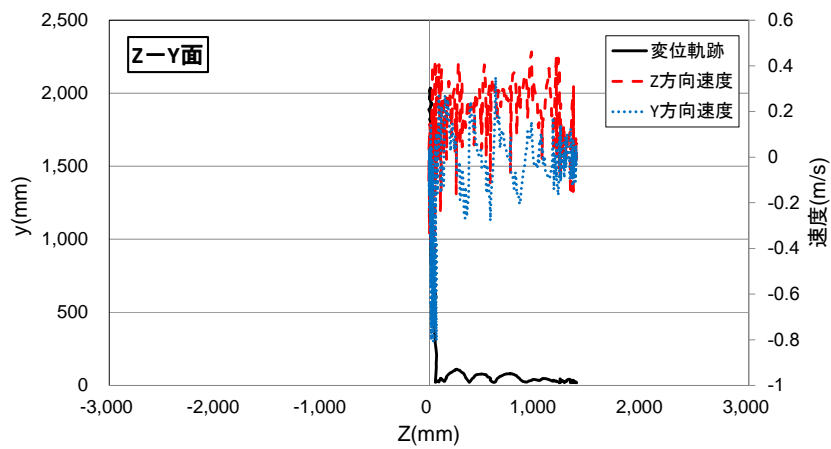


図 3.2.64 試番 4 ケース 23 二次元変位・速度軌跡 (その 3)

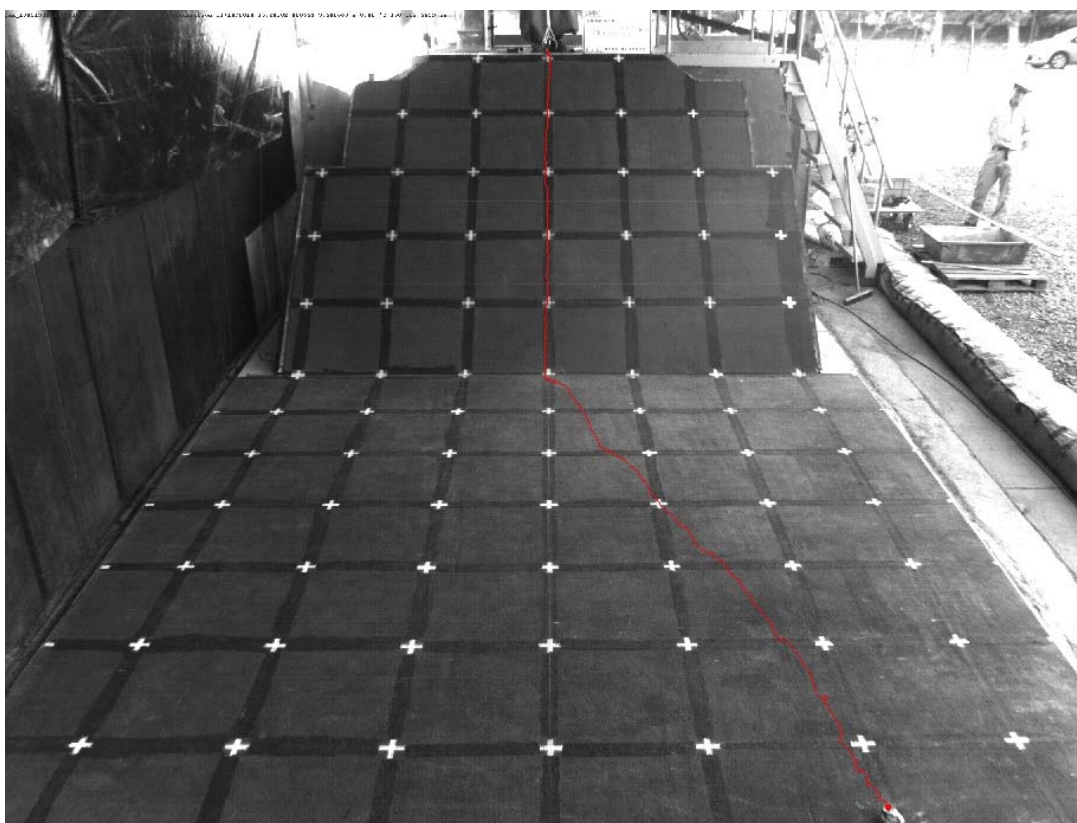


図 3.2.65 試番4 ケース27 流路正面

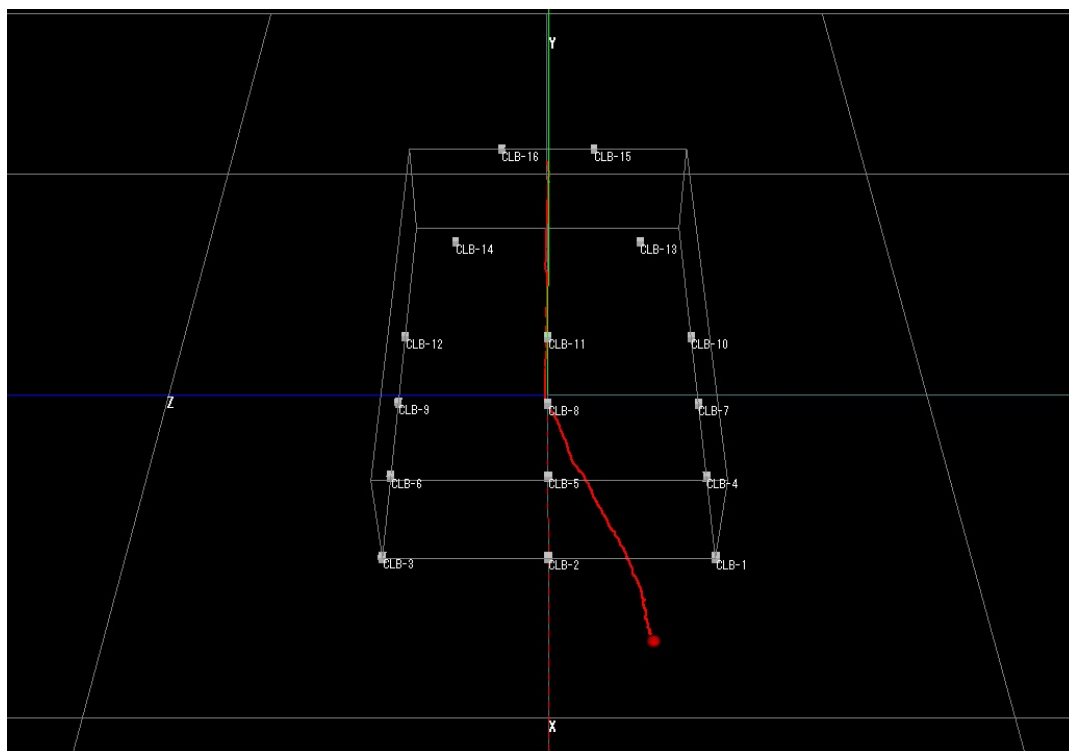


図 3.2.66 試番4 ケース27 流路正面 三次元メッシュ図

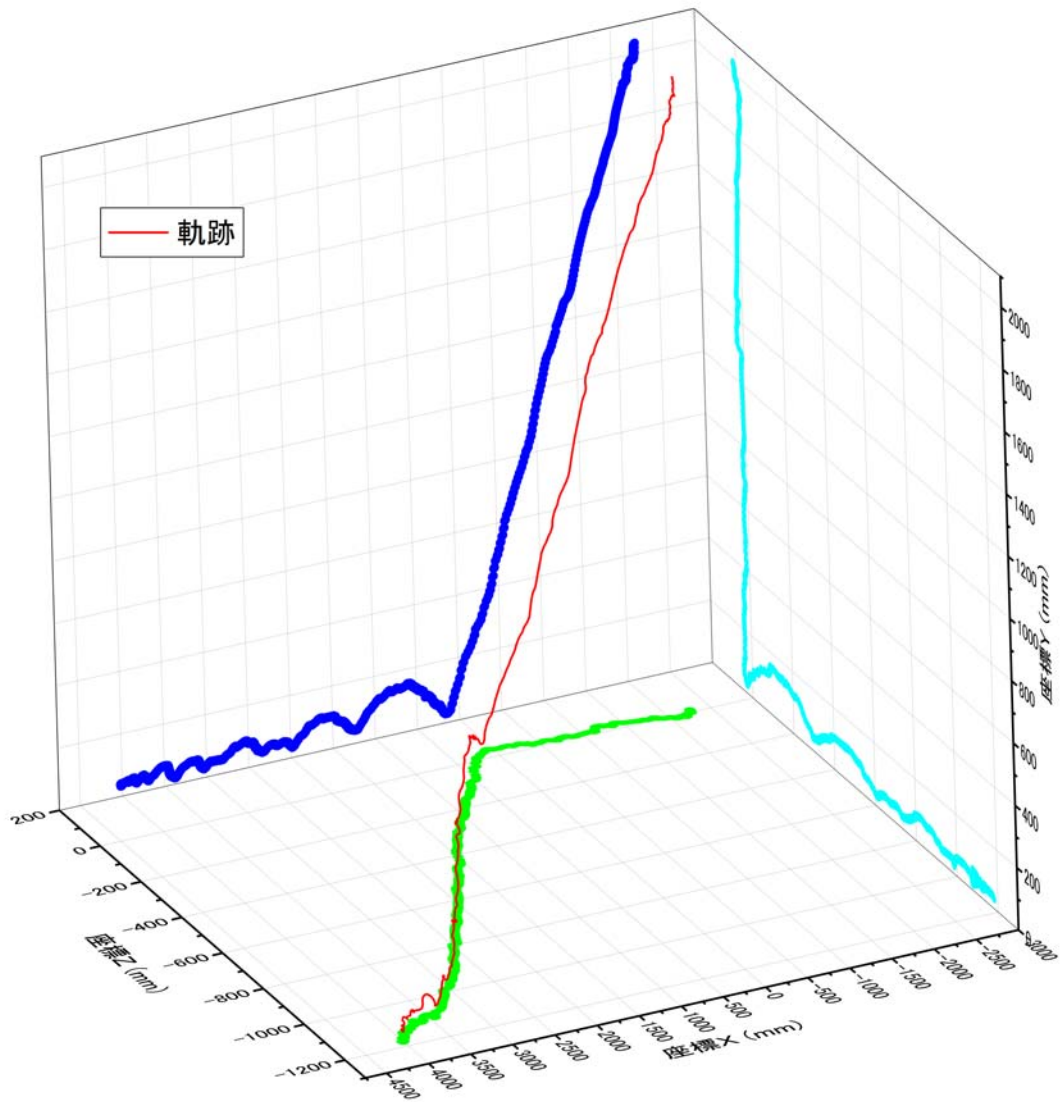


図 3.2.67 試番4 ケース27 三次元変位軌跡

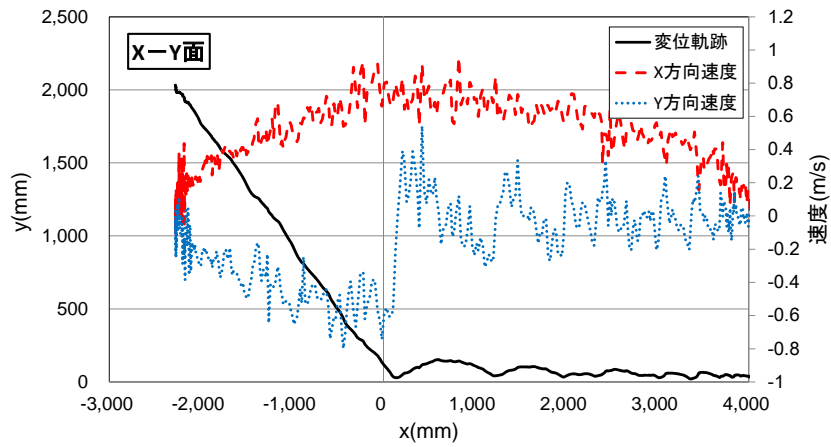


図 3.2.68 試番 4 ケース 27 二次元変位・速度軌跡 (その 1)

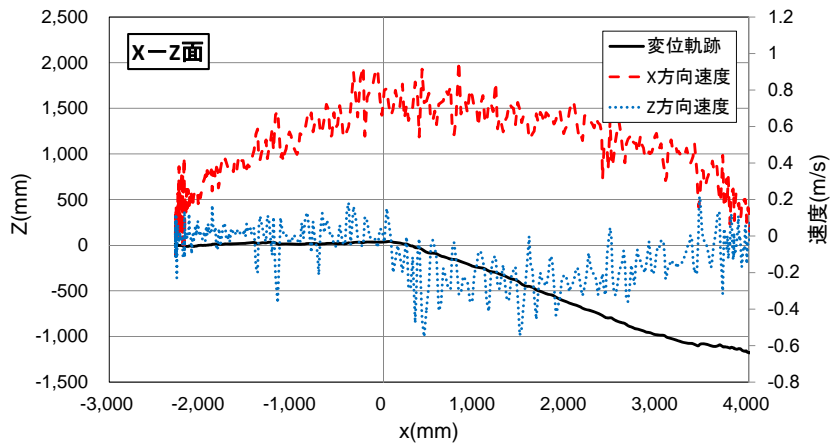


図 3.2.69 試番 4 ケース 27 二次元変位・速度軌跡 (その 2)

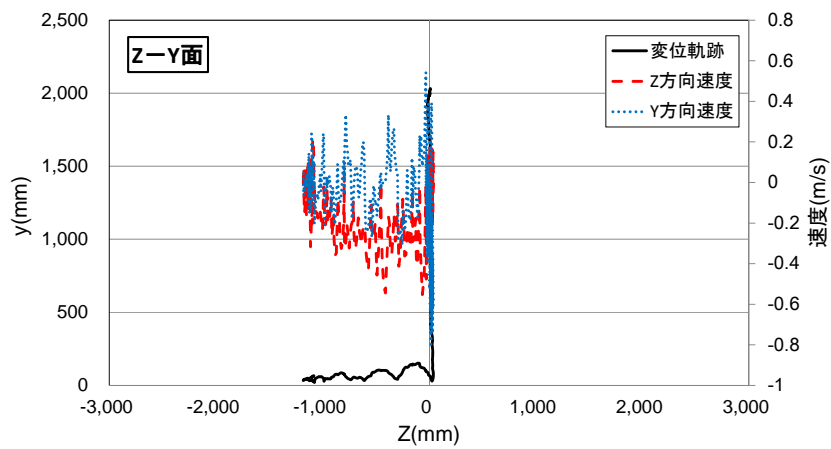


図 3.2.70 試番 4 ケース 27 二次元変位・速度軌跡 (その 3)



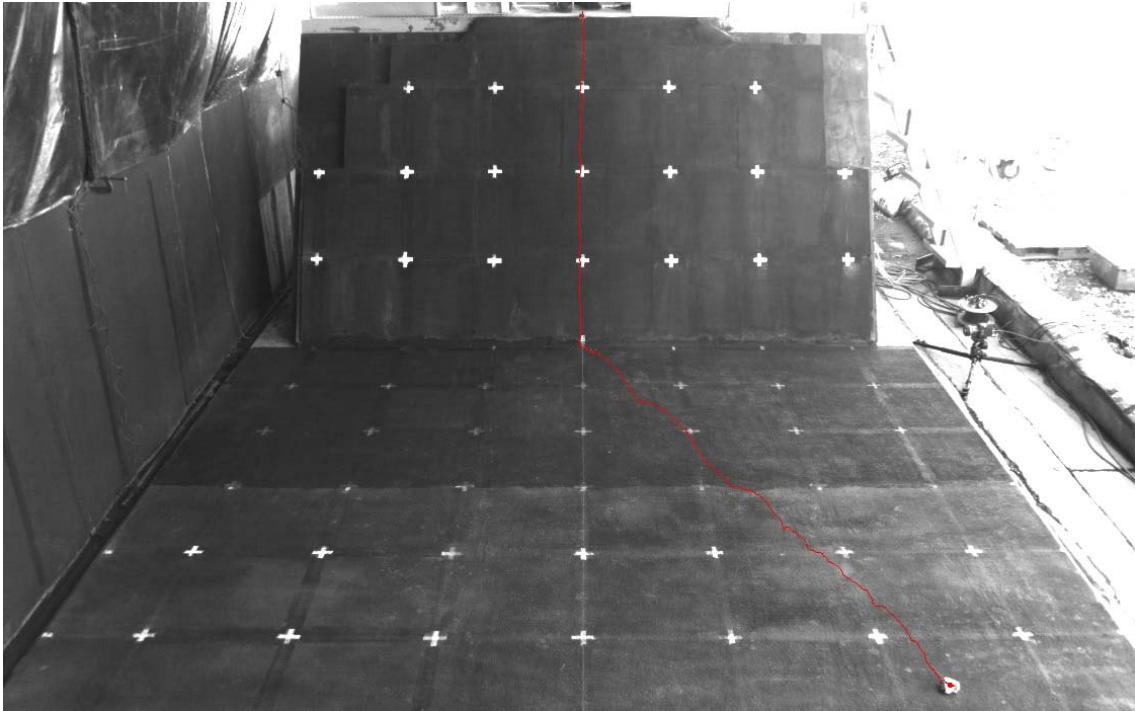


図 3.2.71 試番5 ケース10 流路正面

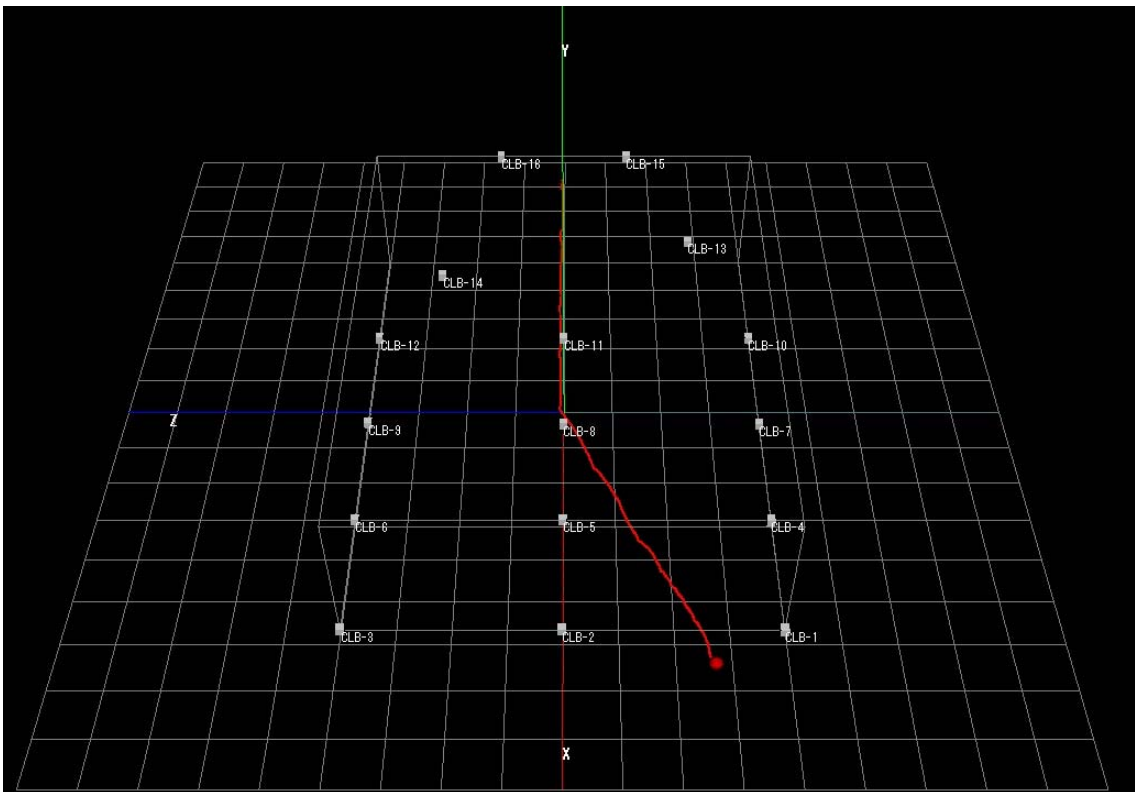


図 3.2.72 試番5 ケース10 流路正面 三次元メッシュ図

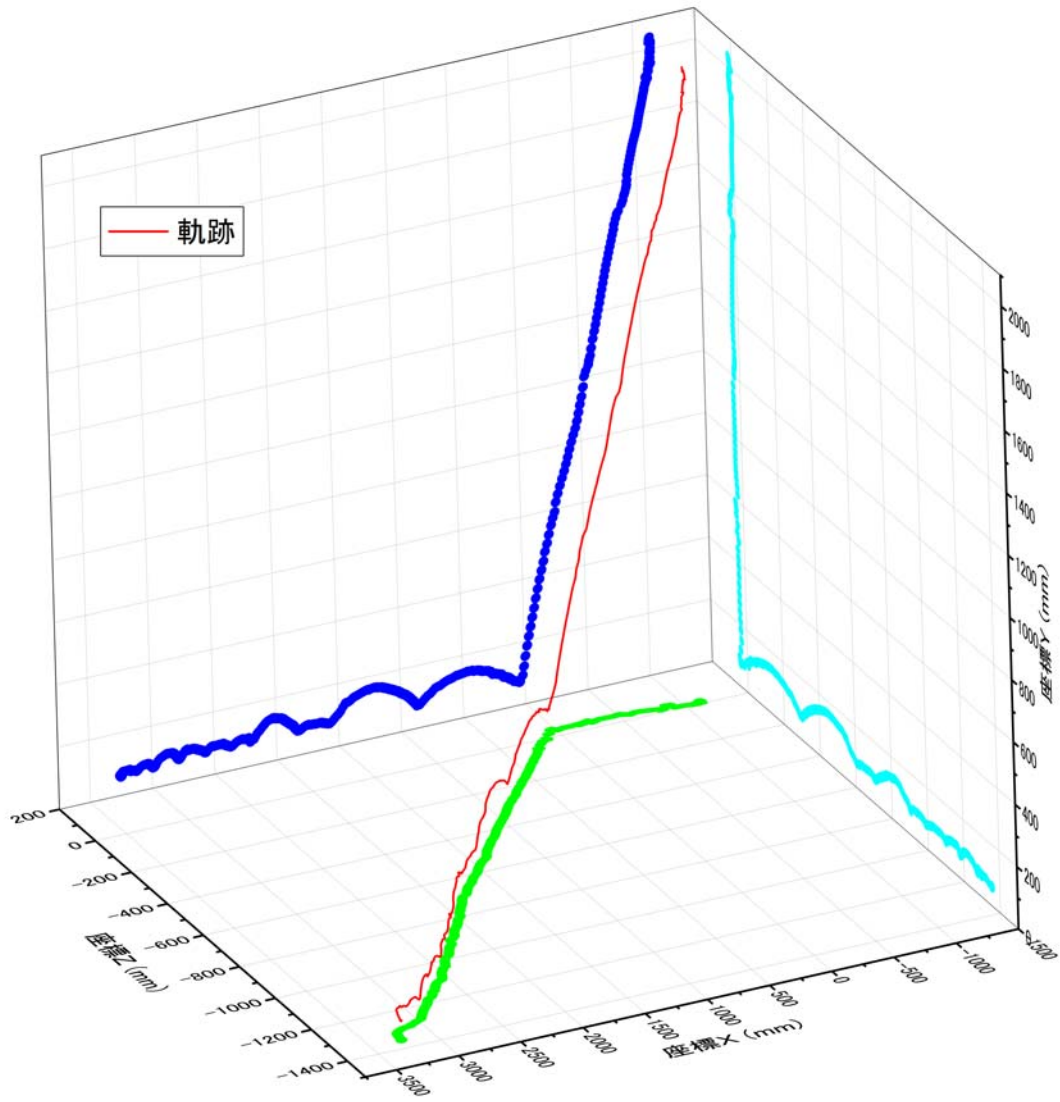


図 3.2.73 試番5 ケース10 三次元変位軌跡



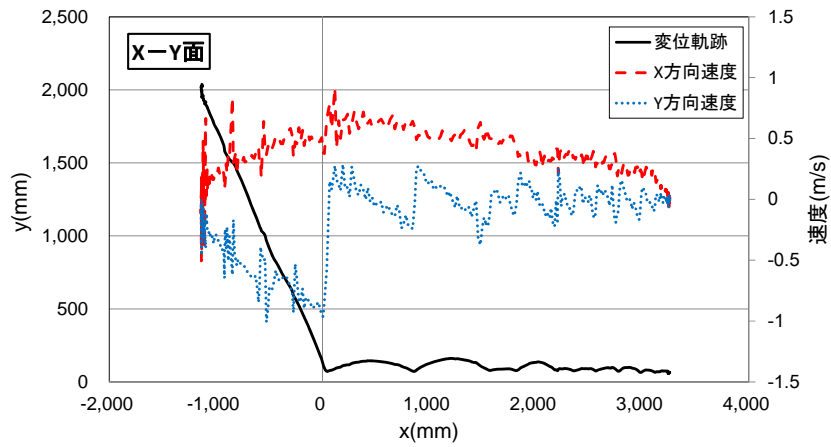


図 3.2.74 試番 5 ケース 10 二次元変位・速度軌跡 (その 1)

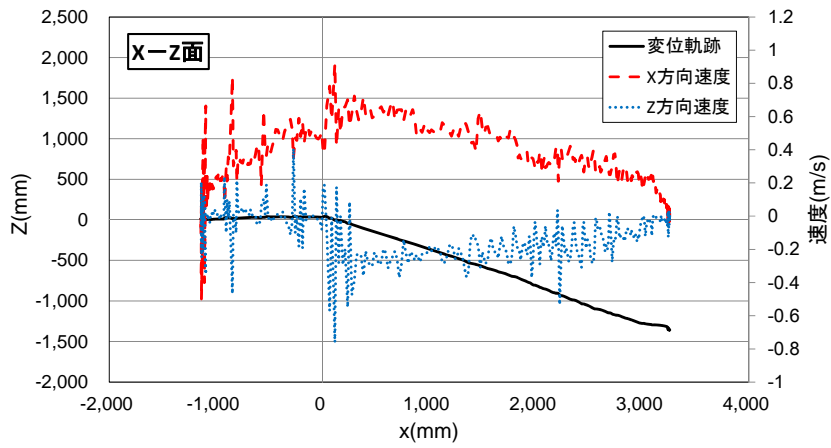


図 3.2.75 試番 5 ケース 10 二次元変位・速度軌跡 (その 2)

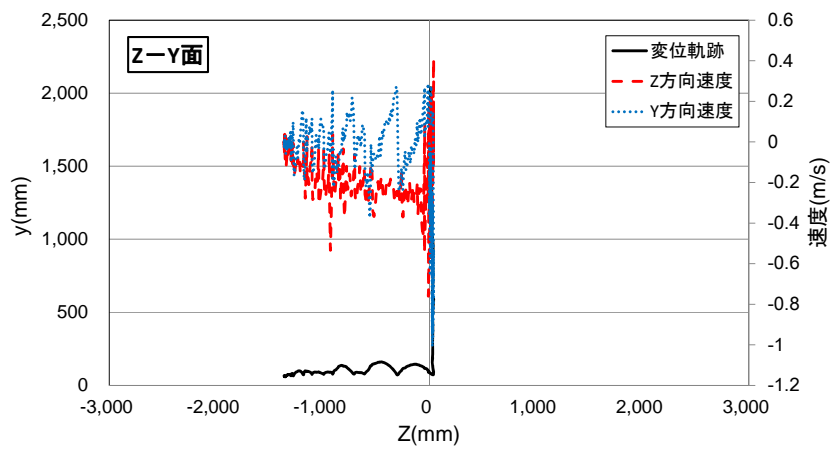


図 3.2.76 試番 5 ケース 10 二次元変位・速度軌跡 (その 3)

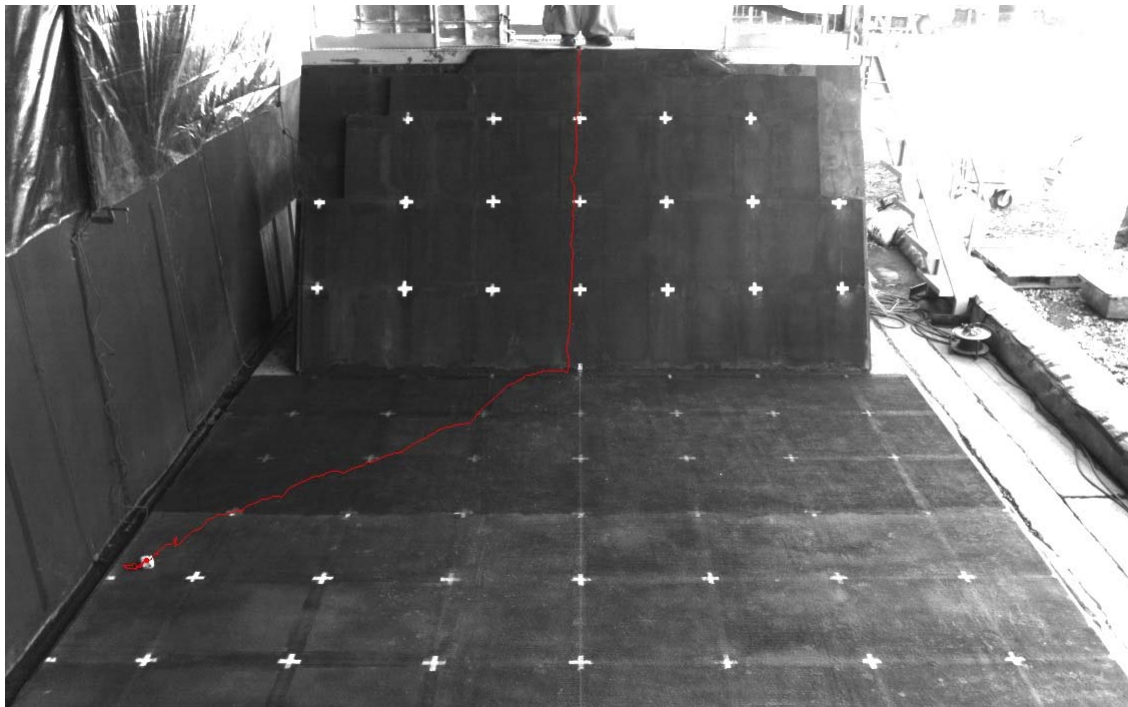


図 3.2.77 試番5 ケース37 流路正面

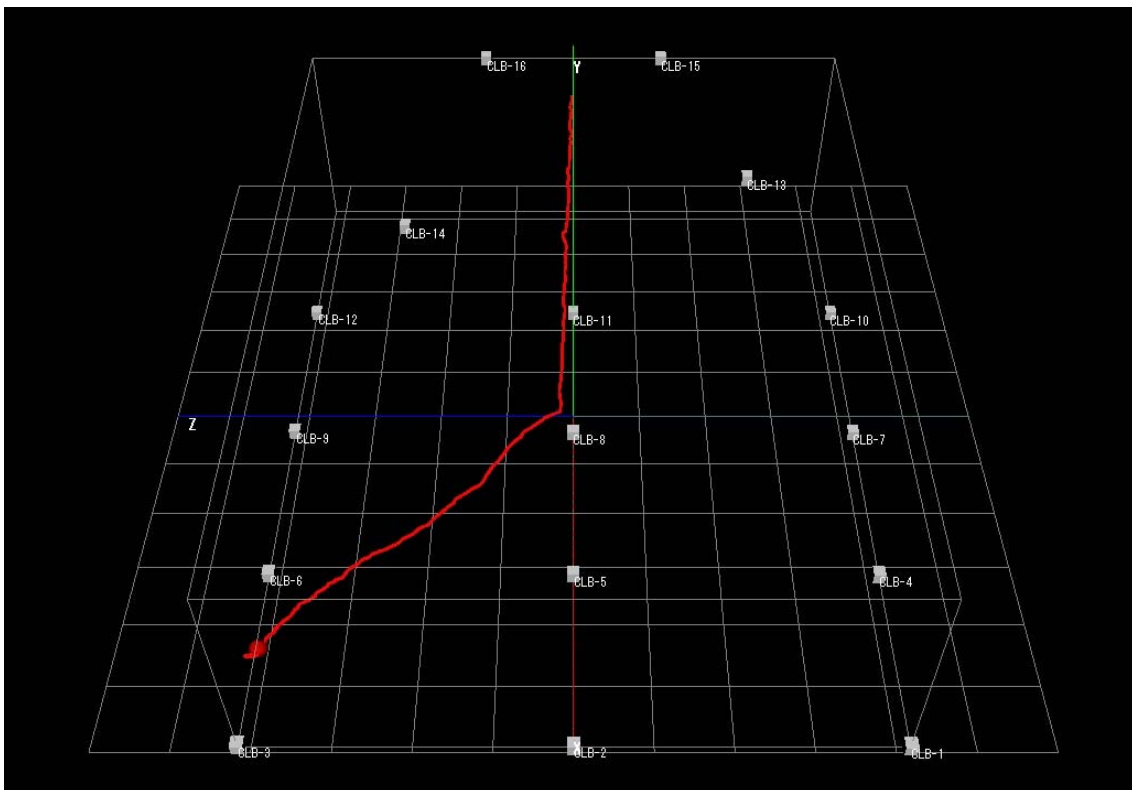


図 3.2.78 試番5 ケース37 流路正面 三次元メッシュ図

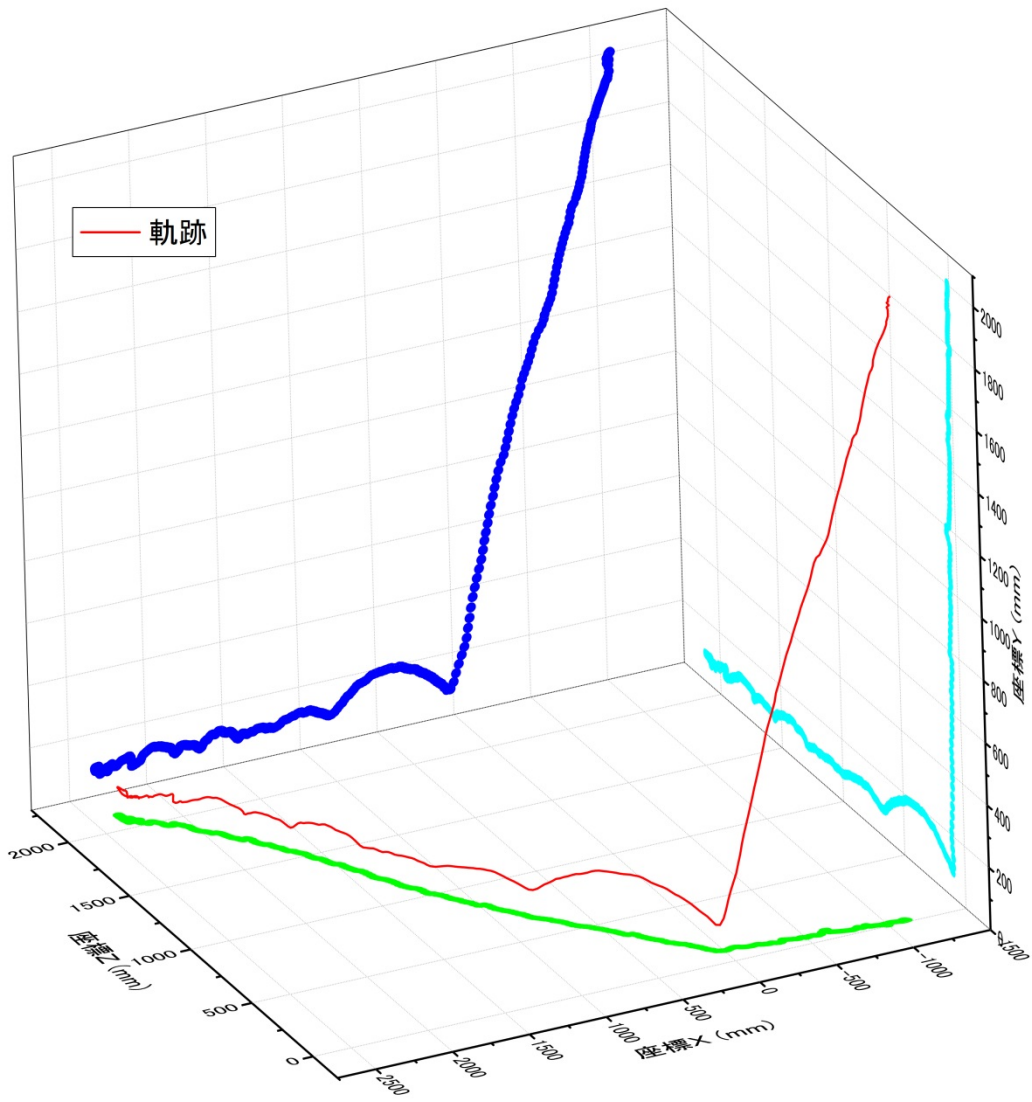


図 3.2.79 試番5 ケース37 三次元変位軌跡

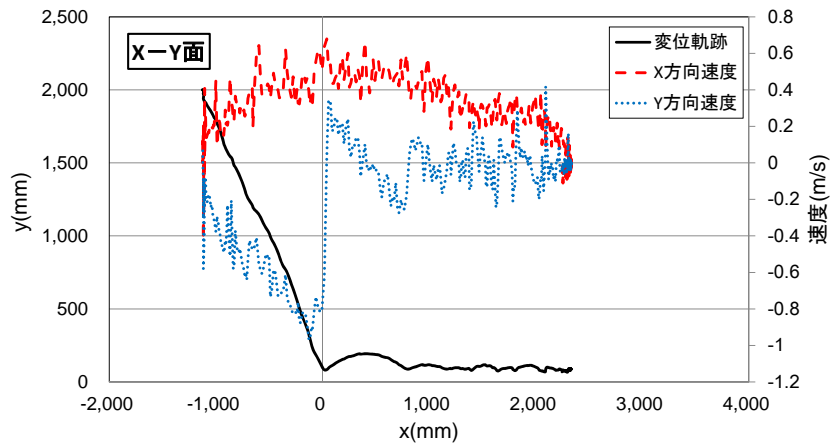


図 3.2.80 試番 5 ケース 37 二次元変位・速度軌跡 (その 1)

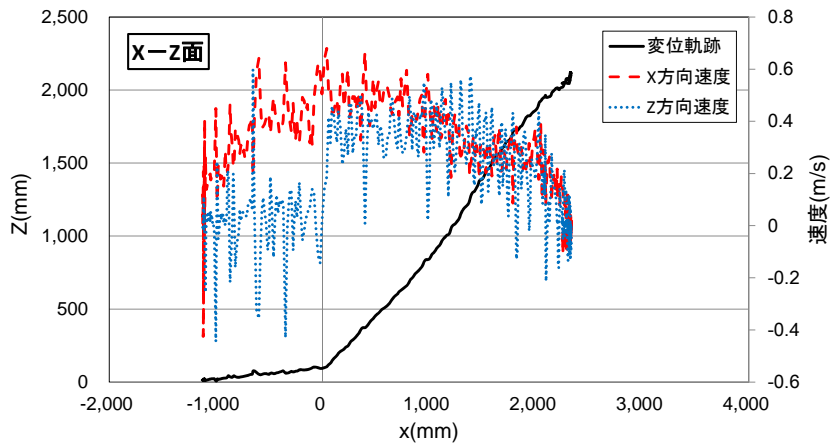


図 3.2.81 試番 5 ケース 37 二次元変位・速度軌跡 (その 2)

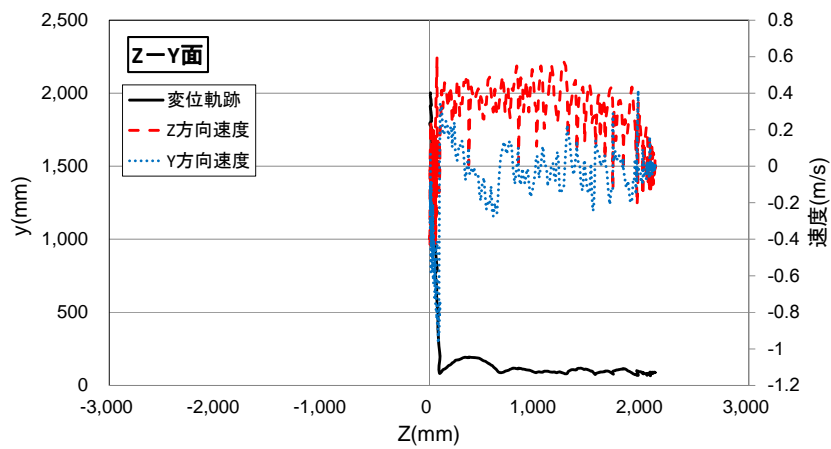


図 3.2.82 試番 5 ケース 37 二次元変位・速度軌跡 (その 3)

表 3.2.9 速度一覧

試番	ケース	斜面勾配 (度)	砕石の種類	落下高さ (m)	試験日	撮影データの有無				保存フォルダ番号	解析の有無	速度 (m/s)									備考
						撮影位置						傾斜部中間点			傾斜部と平坦部境界点			傾斜部と平坦部境界点から2m			
						正面	斜め	側面	回転角用			X方向 (流路長手方向)	Z方向 (流路奥行方向)	Y方向 (高さ)	X方向 (流路長手方向)	Z方向 (流路奥行方向)	Y方向 (高さ)	X方向 (流路長手方向)	Z方向 (流路奥行方向)	Y方向 (高さ)	
1	2	41	砕石A	2	2014/11/18	○	○	○	-	071	○	0.463839	0.086503	-0.450117	0.665828	0.133869	-0.62535	0.228248	0.131027	0.041538	
	2014/11/19				○	○	○	-	040	○	0.548474	0.011951	-0.342283	0.852768	-0.034781	-0.415587	0.606665	0.182779	-0.126977		
2	27	41	砕石B	0.5	2014/11/18	○	○	○	-	054	○	0.306508	0.002677	-0.296771	0.432847	0.03067	-0.377668	0.311971	-0.0255	-0.140323	
	31				○	○	○	-	058	○	0.261779	-0.021008	-0.310874	0.414398	0.094495	-0.3209	0.306226	-0.06956	0.053251		
3	16	41	砕石B	1	2014/11/17	○	○	○	-	026	○	0.374028	0.080961	-0.358583	0.531291	0.069894	-0.537488	0.349131	0.049885	0.053024	
	34				○	○	○	-	019	○	0.343109	-0.115821	-0.391024	0.447564	-0.162439	-0.566139	0.284015	-0.109724	0.075583		
4	11	41	砕石B	2	2014/11/14	○	○	○	-	021	○	0.524626	-0.025393	-0.508191	0.657799	0.172301	-0.75733	0.343689	-0.080021	0.026157	
	16					○	○	○	-	026	○	0.527003	-0.015679	-0.426863	0.684472	0.043465	-0.53079	0.412068	0.086187	0.136095	
	23					○	○	○	-	033	○	0.566089	0.00336	-0.518229	0.890594	-0.121384	-0.566296	0.385668	0.278403	-0.043941	
	27					○	○	○	-	037	○	0.556608	-0.114298	-0.350486	0.79967	-0.033578	-0.57849	0.589607	-0.212985	0.137758	
5	10	60	砕石B	2	2014/12/22	○	○	○	-	015	○	0.364265	0.189918	-1.007952	0.506632	-0.08086	-0.95665	0.282305	-0.091697	-0.003444	
	37					○	○	○	-	042	○	0.471396	-0.097621	-0.585564	0.504997	0.016639	-0.802536	0.274186	0.219514	-0.098276	

表 3.2.10 角速度および転動係数の一覧

No.	試番	斜面角度 度	実施日	ケース	岩塊模型	落下高さ	岩塊挙動	勾配方向速度 m/s	角速度 rad/s	転動係数	備考
1	2	41	2014年11月17日	1	粒子B (8cm)	2m	転動	5.767	-84.12	0.583	
2				転動			3.667	-88.36	0.964		
3				転動			5.522	-50.75	0.368		
4				転動			2.886	-70.41	0.976		
5				転動			4.125	-100.62	0.976		
6	5	60	2014年12月22日	1			転動	4.431	-39.23	0.354	
7				滑動			3.728	-36.75	0.394		
8			2014年12月24日	3			滑動	3.061	-29.22	0.382	
9				転動			5.271	-32.62	0.248		
10				転動			2.249	-68.90	1.225		

### 3. 2. 4 粒子群の転動試験

#### (1) 試験方法

碎石粒子群の転動試験は、岩塊群の転動挙動を把握することを目的として、事前に選別した碎石粒子（粒子A、粒子B）ならびに細粒分を使用して実施した。試験で使用した細粒分は、三軸圧縮試験や一面せん断試験で使用した細粒分と同様に、ファインサンドと東北硅砂6号を重量比1:1で配合した材料を使用した。碎石粒子群の転動試験条件は、表3.2.11に示すように、斜面勾配、碎石粒子サイズ、配合条件（細粒分の有無、含水比）をパラメータとした合計18ケースを実施した。本試験では、斜面天端部に設置したホッパー（崩落装置）に材料を投入した状態で、ホッパーの閉塞蓋を開放し、斜面上での碎石粒子群の転動挙動を模擬した。転動後には、碎石粒子群の状況を確認するため、碎石粒子群の短辺方向の中心位置からの距離X（拡がり幅）と到達距離Yのメジャーによる計測、格子枠毎の碎石粒子と細粒分の質量計測（粒子Bに関しては、格子枠毎の個数も計測）、堆積した碎石群の最大高さの計測およびデジタルカメラを使用した静止位置の記録を行った（図3.2.83参照）。試験結果の整理では、試験時に計測結果を用いて、碎石粒子群の分布状況をグラフ化した。

表 3. 2. 1 1 砕石粒子群の転動試験条件一覧 (合計 18 ケース)

試 番	斜面勾配	粒子分類/粒子配合	細粒分 <sup>※2</sup> 含有率 (%)	細粒分 <sup>※2</sup> 含水比 (%)	数 量
1	41°	粒子 A 最大粒径 : 40 mm~80 mm	0	0	1
2			60	2	1
3			20	2	1
4			40	2	1
5-1			0	0	1
5-2			0	0	1
6-1		粒子 A+B <sup>※2</sup> 重量比 : 2.5:1.0	0	0	1
6-2		粒子 A+B <sup>※2</sup> 粒子 A 重量比 50% 粒子 B 重量比 20%	30	2	1
7			30	16	1
8			30	20	1
9			30	28	1
10		粒子 A 最大粒径 : 20 mm~30 mm	0	0	1
11	20		2	1	
12	40		2	1	
13	60°	粒子 A	0	0	1
14		粒子 B	0	0	1
15		粒子 A+B <sup>※2</sup> 重量比 : 2.5:1.0	0	0	1
16		粒子 A+B <sup>※2</sup> 粒子 A 重量比 50% 粒子 B 重量比 20%	30	20	1

※1 細粒分には、ファインサンドと東北硅砂 6 号を重量比 1 : 1 で配合した材料を使用した。

※2 砕石粒子群の転動試験で使用する材料の質量は、各試番ともに 150kg とした。同表に示す配合は、細粒分の有無に依らず、使用する材料の重量比によるものである。

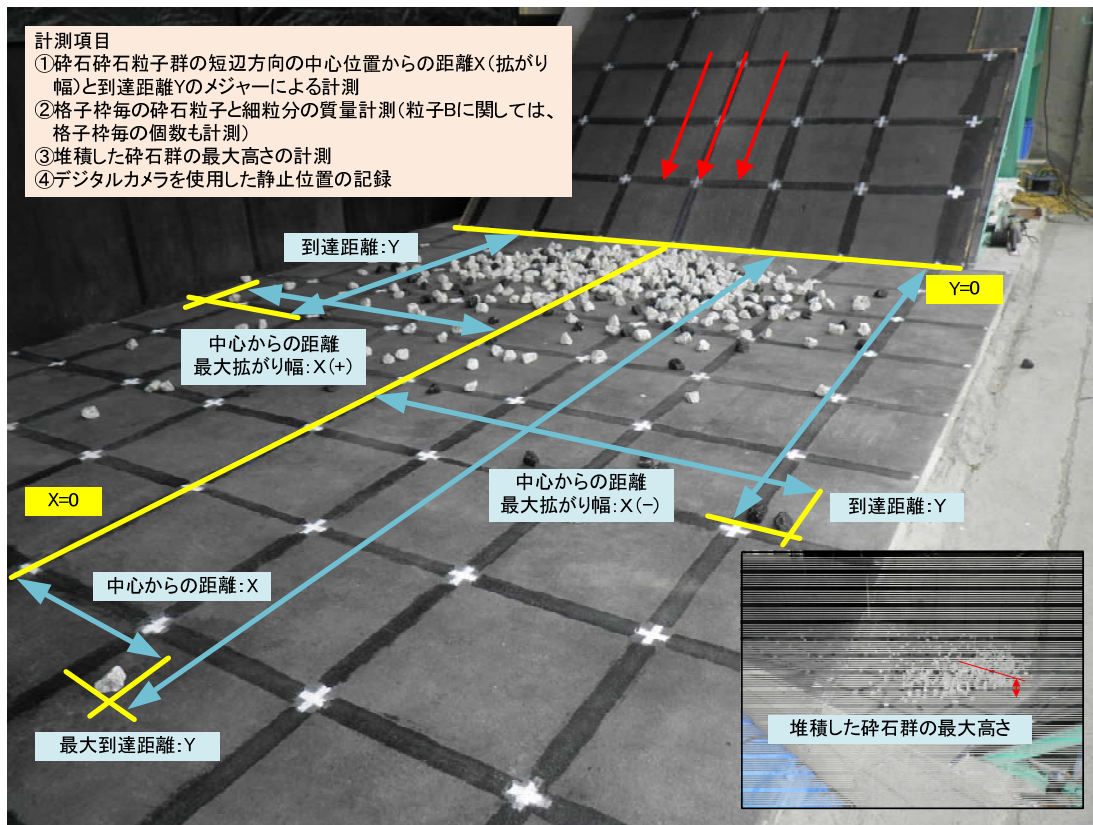


図3. 2. 8 3 計測内容概要 (碎石粒子群の転動試験)



(2) 試験結果

① 達距離と広がり幅の頻度分布

碎石粒子群の転動試験で計測された最大到達距離Yおよび最大広がり幅Xの値をまとめ表 3.2.12(a)に示す。また、格子各の質量および B 粒子個数の計測結果を表 3.2.12(b)～表 3.2.12(s)に、これらの分布状況は、図 3.2.84 に示すとおりである。

表 3.2.12(a) 最大到達距離測定結果

試番	体積 高さ	(単位mm)											
		Y方向最大到達距離				X方向最大到達距離 (西側)				X方向最大到達距離 (東側)			
		粒子A		粒子B		粒子A		粒子B		粒子A		粒子B	
X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y		
試番1	105			-680	4950			2100	2280			-1920	3520
試番2	200			-370	4220			1710	2700			-1500	1575
試番3	140			1180	4780			1650	2700			-2130	2280
試番4	150			-570	4700			1570	2030			-1960	3030
試番5-1	120			830	5170			2140	3340			-2240	3550
試番5-2	110			520	3900			1900	2490			-1690	1190
試番6-1	95	1560	5000	-190	3390	2250	1850	1830	1930	-2330	1120	-2250	3450
試番6-2	150	-300	5060	270	5320	1300	1130	2100	1400	-2250	2370	-2030	2740
試番7	190	-230	4050	-1190	3700	2080	3230	1680	2480	-2070	2330	-1940	1980
試番8	145	-1100	4700	450	2800	1750	700	970	2320	-1980	3780	-2100	2550
試番9	120	-1730	3780	300	3620	1900	2200	2130	3090	-2030	2320	-1680	1290
試番10	110	-80	4100			2230	1650			-2230	2320		
試番11	120	-1900	4530			2200	3180			-2030	1890		
試番12	100	-660	4210			2150	1100			-1970	1120		
試番13	80	-150	3880			1810	1270			-1980	1570		
試番14	95			300	3100			2050	1900			-1950	2280
試番15	110	380	5570	450	3100	2250	2380	1870	3080	-2170	3290	-2170	2200
試番16	130	880	3570	-580	2620	1520	990	1120	600	-1820	1650	-1000	480

※0Bは除く  
 ※Xは模型センターを0とし、西側方向 (+)、東側方向 (-) とした。  
 ※Yは斜面法尻を0とした。

表 3. 2. 1 2 (b) 砕石粒子群転動試験 測定結果 試番 1

転動実験データシート 質量分布  
試番1 粒子:B

ブロック区分(mm)		OB	A	B	C	D	E	F	G	H	OB
		2300	2025	1500	900	300	-300	-900	-1500	-2025	-2300
-1	-1000										
0	-300										
1	300				1300	8120	9480	460			
2	900			420	10710	28650	26040	11650	2570		
3	1500			1410	5240	6490	6690	9320	2850		180
4	2100	210	530	660	2080	1590	1910	2080	830		
5	2700			480	720	1460	1080	310	170		
6	3300			210	190	600	230	210	440	470	230
7	3900				730				210		
8	4500			190							
9	5100							280			
10	5700										
OB	6300			190							

単位:g

転動実験データシート 個数分布  
試番1 粒子:B

ブロック区分(mm)		OB	A	B	C	D	E	F	G	H	OB
		2300	2025	1500	900	300	-300	-900	-1500	-2025	-2300
-1	-1000										
0	-300										
1	300				6	35	39	2			
2	900			2	43	119	107	50	10		
3	1500			6	21	26	26	37	13		1
4	2100	1	2	3	7	6	8	7	3		
5	2700			2	3	5	5	1	1		
6	3300			1	1	2	1	1	2	2	1
7	3900				3				1		
8	4500			1							
9	5100							1			
10	5700										
OB	6300			1							

単位:個

表3. 2. 1 2(c) 碎石粒子群転動試験 測定結果 試番2

転動実験データシート 質量分布

試番2 粒子:B

ブロック区分(mm)		OB	A	B	C	D	E	F	G	H	OB
		2300	2025	1500	900	300	-300	-900	-1500	-2025	-2300
-1	-1000					5480					
0	-300					6160	5910	390			
1	300				930	13310	13580	980			
2	900				230	2290	1880	2580			
3	1500				300	350	1100	1180	280		
4	2100				620		270	230			
5	2700			250		380	310				
6	3300				210		280				
7	3900							240			
8	4500						220				
9	5100										
10	5700										
OB	6300			230							

単位:g

試番2 粒子:細粒分

ブロック区分(mm)		OB	A	B	C	D	E	F	G	H	OB
		2300	2025	1500	900	300	-300	-900	-1500	-2025	-2300
-1	-1000					37580					
0	-300				1190	10800	7440	1950			
1	300				1360	16300	11270	1900			
2	900				8	32	48	6			
3	1500										
4	2100										
5	2700										
6	3300										
7	3900										
8	4500										
9	5100										
10	5700										

単位:g

転動実験データシート 個数分布

試番2 粒子:B

ブロック区分(mm)		OB	A	B	C	D	E	F	G	H	OB
		2300	2025	1500	900	300	-300	-900	-1500	-2025	-2300
-1	-1000					23					
0	-300					26	25	1			
1	300				4	57	56	4			
2	900				1	10	7	10			
3	1500				1	1	4	4	1		
4	2100				2		1	1			
5	2700			1		1	1				
6	3300				1		1				
7	3900							1			
8	4500						1				
9	5100										
10	5700										
OB	6300			1							

単位:個

表3. 2. 1 2 (d) 砕石粒子群転動試験 測定結果 試番3

転動実験データシート 質量分布

試番3 粒子:B

ブロック区分(mm)		OB	A	B	C	D	E	F	G	H	OB
		2300	2025	1500	900	300	-300	-900	-1500	-2025	-2300
-1	-1000										
0	-300					1260	720				
1	300				2270	27550	29550	4190			
2	900			480	3440	11440	9240	6100	180		
3	1500			510	2880	3200	3200	2620	650		
4	2100			280	250	1780	1400	590		680	240
5	2700			770	260	500	370	210	740		
6	3300					230			210	280	
7	3900					330		650			240
8	4500				230	270					
9	5100										
10	5700										
OB	6300					240					

単位:g

試番3 粒子:細粒分

ブロック区分(mm)		OB	A	B	C	D	E	F	G	H	OB
		2300	2025	1500	900	300	-300	-900	-1500	-2025	-2300
-1	-1000						6104				
0	-300				358	2534	2706	366			
1	300				554	7760	7470	680			
2	900				6	52	46	8			
3	1500										
4	2100										
5	2700										
6	3300										
7	3900										
8	4500										
9	5100										
10	5700										

単位:g

転動実験データシート 質量分布

試番3 粒子:B

ブロック区分(mm)		OB	A	B	C	D	E	F	G	H	OB
		2300	2025	1500	900	300	-300	-900	-1500	-2025	-2300
-1	-1000										
0	-300					6	3				
1	300				9	112	122	20			
2	900			2	14	47	36	24	1		
3	1500			2	11	14	14	12	3		
4	2100			1	1	7	6	2		3	1
5	2700			3	1	2	2	1	3		
6	3300					1			1	1	
7	3900					1		2			1
8	4500				1	1					
9	5100										
10	5700										
OB	6300					1					

単位:個

表3. 2. 1 2 (e) 碎石粒子群転動試験 測定結果 試番4

転動実験データシート 質量分布  
試番4 粒子:B

ブロック区分(mm)		OB	A	B	C	D	E	F	G	H	OB
		2300	2025	1500	900	300	-300	-900	-1500	-2025	-2300
-1	-1000					1400					
0	-300					3520	5500	700			
1	300				2760	18650	23260	3390			
2	900				1630	5660	4500	2490	160		
3	1500			450	2000	2680	1920	1070	230		
4	2100	320		570	540	790	1040	770	430		
5	2700				320	440	390	250			
6	3300				520	280			250	220	
7	3900				190						
8	4500				440			280			320
9	5100										
10	5700										
OB	6300										

単位:g  
単位:g

試番4 粒子:細粒分

ブロック区分(mm)		OB	A	B	C	D	E	F	G	H	OB
		2300	2025	1500	900	300	-300	-900	-1500	-2025	-2300
-1	-1000					22320					
0	-300				980	4900	6090	1080			
1	300				1250	9910	10440	1750			
2	900				8	24	20	12			
3	1500										
4	2100										
5	2700										
6	3300										
7	3900										
8	4500										
9	5100										
10	5700										

単位:g

転動実験データシート 個数分布  
試番4 粒子:B

ブロック区分(mm)		OB	A	B	C	D	E	F	G	H	OB
		2300	2025	1500	900	300	-300	-900	-1500	-2025	-2300
-1	-1000					6					
0	-300					15	23	3			
1	300				12	79	94	13			
2	900				6	23	19	10	1		
3	1500			2	8	10	8	4	1		
4	2100	1		2	2	3	4	3	2		
5	2700				1	2	2	1			
6	3300				2	1			1	1	
7	3900				1						
8	4500				2			1			1
9	5100										
10	5700										
OB	6300										

単位:個

表 3. 2. 1 2 (f) 砕石粒子群転動試験 測定結果 試番 5 - 1

転動実験データシート 質量分布  
試番5-1 粒子:B

ブロック区分(mm)		OB	A	B	C	D	E	F	G	H	OB
		2300	2025	1500	900	300	-300	-900	-1500	-2025	-2300
-1	-1000										
0	-300										
1	300				2520	12140	11490	2100			
2	900			790	9760	27250	28400	16000	1770		
3	1500			1800	4780	6520	4640	4840	830		267
4	2100			660	980	1640	1330	550	370	180	
5	2700			970	1370	470	810	570	420	540	
6	3300		270	260	190	660		420			
7	3900										267
8	4500										266
9	5100				250						
10	5700										
OB	6300										

単位:g

転動実験データシート 個数分布  
試番5-1 粒子:B

ブロック区分(mm)		OB	A	B	C	D	E	F	G	H	OB
		2300	2025	1500	900	300	-300	-900	-1500	-2025	-2300
-1	-1000										
0	-300										
1	300				10	52	46	8			
2	900			3	39	111	125	65	8		
3	1500			7	20	28	18	20	4		1
4	2100			3	5	6	5	2	2	1	
5	2700			4	5	2	3	2	2	2	
6	3300		1	1	1	3		1			
7	3900										1
8	4500										1
9	5100				1						
10	5700										
OB	6300										

単位:個

表 3. 2. 1 2 (g) 砕石粒子群転動試験 測定結果 試番 5-2

転動実験データシート 質量分布  
試番5-2 粒子:B

ブロック区分(mm)		OB	A	B	C	D	E	F	G	H	OB
		2300	2025	1500	900	300	-300	-900	-1500	-2025	-2300
-1	-1000										
0	-300										
1	300			260	1690	9070	9930	2250			
2	900			1240	13630	26720	26520	12470	1550		
3	1500	190		1460	4520	6940	5750	6150	1480		190
4	2100			540	2710	2270	1960	2380	1050		
5	2700		230		200	910	1970	450	990		
6	3300			270	230	210	200		460		
7	3900			270		390		230	260		
8	4500										
9	5100										
10	5700										
OB	6300										

単位:g

転動実験データシート 個数分布  
試番5-2 粒子:B

ブロック区分(mm)		OB	A	B	C	D	E	F	G	H	OB
		2300	2025	1500	900	300	-300	-900	-1500	-2025	-2300
-1	-1000										
0	-300										
1	300			1	7	38	41	10			
2	900			5	56	109	111	51	7		
3	1500	1		6	19	30	26	26	6		1
4	2100			2	11	9	8	9	4		
5	2700		1		1	4	8	2	3		
6	3300			1	1	1	1		2		
7	3900			1		1		1	1		
8	4500										
9	5100										
10	5700										
OB	6300										

単位:個

表3. 2. 1 2 (h) 砕石粒子群転動試験 測定結果 試番6-1

転動実験データシート 質量分布  
試番6-1 粒子:B

ブロック区分(mm)		OB	A	B	C	D	E	F	G	H	OB
		2300	2025	1500	900	300	-300	-900	-1500	-2025	-2300
-1	-1000										
0	-300										
1	300				1620	4230	6160	1040			
2	900			180	1440	4290	5780	4290	270		
3	1500			580	1440	2320	1920	600	610		
4	2100		250	1070	690	240	400	1270			
5	2700			230	310	600			340		
6	3300						270		270	270	
7	3900										
8	4500										
9	5100										
10	5700										
OB	6300										

単位:g

試番6-1 粒子:A

ブロック区分(mm)		OB	A	B	C	D	E	F	G	H	OB
		2300	2025	1500	900	300	-300	-900	-1500	-2025	-2300
-1	-1000										
0	-300										
1	300			94	7810	35910	32990	8470	134		44
2	900		42	620	3216	4050	4864	3054	632	66	11
3	1500	11	66	330	576	682	486	612	244	52	11
4	2100	44	26	86	276	178	214	192	72	32	11
5	2700	22		46	98	72	62	80	28	26	11
6	3300	22					42	26	22	34	
7	3900	11		26			24				
8	4500				18	10					
9	5100			14							
10	5700										
OB	6300					11	11				

単位:g

転動実験データシート 個数分布  
試番6-1 粒子:B

ブロック区分(mm)		OB	A	B	C	D	E	F	G	H	OB
		2300	2025	1500	900	300	-300	-900	-1500	-2025	-2300
-1	-1000										
0	-300										
1	300				8	19	28	5			
2	900			1	6	18	26	19	1		
3	1500			2	6	10	8	2	3		
4	2100		1	4	3	1	2	4			
5	2700			1	1	2			1		
6	3300						1		1	1	
7	3900										
8	4500										
9	5100										
10	5700										
OB	6300										

単位:個



表3. 2. 1 2 (i) 砕石粒子群転動試験 測定結果 試番6-2

転動実験データシート 質量分布

試番6-2 粒子:B

ブロック区分(mm)		OB	A	B	C	D	E	F	G	H	OB
		2300	2025	1500	900	300	-300	-900	-1500	-2025	-2300
-1	-1000										
0	-300					1120	190				
1	300				490	3960	6130				
2	900			400	930	5940	3660	640	210		
3	1500				360	1370	1740	650			
4	2100					620	430	180	210		
5	2700							260		240	
6	3300										
7	3900										
8	4500										
9	5100					400					
10	5700										
OB	6300										

単位:g

試番6-2 粒子:A

ブロック区分(mm)		OB	A	B	C	D	E	F	G	H	OB
		2300	2025	1500	900	300	-300	-900	-1500	-2025	-2300
-1	-1000						1720				
0	-300				1440	10540	10050	1260			
1	300				4400	16790	18150	3214	54		
2	900		18	196	1168	1386	1140	1092	150		
3	1500	33	8	74	176	250	216	376	120	26	
4	2100		32	60	62	106	124	18	36	42	11
5	2700		8	34	36	60	70	22	18	10	11
6	3300	22	14			10	24	34	28		
7	3900					10		10			
8	4500				10						
9	5100						22				
10	5700										
OB	6300								11		

単位:g

試番6-2 粒子:細粒分

ブロック区分(mm)		OB	A	B	C	D	E	F	G	H	OB
		2300	2025	1500	900	300	-300	-900	-1500	-2025	-2300
-1	-1000						9020				
0	-300				1118	6940	7040	1248			
1	300				742	7480	8980	1198			
2	900										
3	1500										
4	2100										
5	2700										
6	3300										
7	3900										
8	4500										
9	5100										
10	5700										

単位:g

表 3. 2. 1 2 (i) 碎石粒子群転動試験 測定結果 試番 6 - 2

転動実験データシート 個数分布  
試番 6-2 粒子: B

ブロック区分(mm)		OB	A	B	C	D	E	F	G	H	OB
		2300	2025	1500	900	300	-300	-900	-1500	-2025	-2300
-1	-1000										
0	-300					5	1				
1	300				2	16	25				
2	900			2	4	26	15	3	1		
3	1500				2	6	7	3			
4	2100					3	2	1	1		
5	2700							1		1	
6	3300										
7	3900										
8	4500										
9	5100					1					
10	5700										
OB	6300										

単位: 個

表3. 2. 1 2 (j) 砕石粒子群転動試験 測定結果 試番7

転動実験データシート 質量分布

試番7 粒子:B

ブロック区分(mm)		OB	A	B	C	D	E	F	G	H	OB
		2300	2025	1500	900	300	-300	-900	-1500	-2025	-2300
-1	-1000										
0	-300					230	182				
1	300				1320	4620	4570	1400	250		
2	900				1360	3250	6050	950	700		
3	1500				720	1240	740	284			
4	2100						180	580		200	
5	2700			230	290			490			
6	3300			186		230	260				
7	3900							214			
8	4500										
9	5100										
10	5700										
OB	6300										

単位:g

試番7 粒子:A

ブロック区分(mm)		OB	A	B	C	D	E	F	G	H	OB
		2300	2025	1500	900	300	-300	-900	-1500	-2025	-2300
-1	-1000										
0	-300				566	8630	12130	1008			
1	300			104	5590	18650	16980	5660	73		
2	900		26	186	1190	950	980	740	332	22	
3	1500		10	124	74	560	230	230	56		
4	2100	24		46	60	10	148	50	72	12	
5	2700		12	25	24	20	12	61	12		
6	3300	12	22			37	25		30		12
7	3900				8		6				
8	4500										
9	5100										
10	5700										
OB	6300										

単位:g

試番7 粒子:細粒分

ブロック区分(mm)		OB	A	B	C	D	E	F	G	H	OB
		2300	2025	1500	900	300	-300	-900	-1500	-2025	-2300
-1	-1000										
0	-300				774	7118	9658	1052			
1	300				2020	9580	8160	2680			
2	900										
3	1500										
4	2100										
5	2700										
6	3300										
7	3900										
8	4500										
9	5100										
10	5700										

単位:g

表 3. 2. 1 2 (j) 砕石粒子群転動試験 測定結果 試番 7

転動実験データシート 個数分布  
試番7 粒子:B

ブロック区分(mm)		OB	A	B	C	D	E	F	G	H	OB
		2300	2025	1500	900	300	-300	-900	-1500	-2025	-2300
-1	-1000										
0	-300					1	1				
1	300				5	16	15	5	1		
2	900				5	14	23	4	3		
3	1500				3	5	3	1			
4	2100						1	3		1	
5	2700			1	1			2			
6	3300			1		1	1				
7	3900							1			
8	4500										
9	5100										
10	5700										
OB	6300										

単位:個

表3. 2. 1 2 (k) 碎石粒子群転動試験 測定結果 試番8

転動実験データシート 質量分布  
試番8 粒子:B

ブロック区分(mm)		OB	A	B	C	D	E	F	G	H	OB
		2300	2025	1500	900	300	-300	-900	-1500	-2025	-2300
-1	-1000										
0	-300					880	1540				
1	300				1450	7680	7170	2710			
2	900				530	2890	1450	1230	380		
3	1500					302	450	400			
4	2100				740	420					
5	2700					870				266	
6	3300										
7	3900										
8	4500										
9	5100										
10	5700										
OB	6300										

単位:g

試番8 粒子:A

ブロック区分(mm)		OB	A	B	C	D	E	F	G	H	OB
		2300	2025	1500	900	300	-300	-900	-1500	-2025	-2300
-1	-1000										
0	-300				1210	7900	9330	1150			
1	300			70	6140	21780	18730	5860	98		
2	900			110	270	750	590	492	210		
3	1500			90	30	123	160	49	44		
4	2100			22	25	25	26	28	32		
5	2700					12					
6	3300					10			10		
7	3900									12	
8	4500					12		16			
9	5100										
10	5700										
OB	6300										

単位:g

試番8 粒子:細粒分

ブロック区分(mm)		OB	A	B	C	D	E	F	G	H	OB
		2300	2025	1500	900	300	-300	-900	-1500	-2025	-2300
-1	-1000										
0	-300				800	3650	5290	590			
1	300				3330	12560	10700	3410			
2	900										
3	1500										
4	2100										
5	2700										
6	3300										
7	3900										
8	4500										
9	5100										
10	5700										

単位:g

表 3. 2. 1 2 (k) 砕石粒子群転動試験 測定結果 試番 8

転動実験データシート 個数分布  
試番8 粒子:B

ブロック区分(mm)		OB	A	B	C	D	E	F	G	H	OB
		2300	2025	1500	900	300	-300	-900	-1500	-2025	-2300
-1	-1000										
0	-300					3	5				
1	300				5	26	24	9			
2	900				2	10	5	4	1		
3	1500					1	2	1			
4	2100				3	2					
5	2700					3				1	
6	3300										
7	3900										
8	4500										
9	5100										
10	5700										
OB	6300										

単位:個

表3. 2. 1 2 (1) 碎石粒子群転動試験 測定結果 試番9

転動実験データシート 質量分布

試番9 粒子:B

ブロック区分(mm)		OB	A	B	C	D	E	F	G	H	OB
		2300	2025	1500	900	300	-300	-900	-1500	-2025	-2300
-1	-1000										
0	-300					216					
1	300				188	3720	4380	200			
2	900			425	1300	4040	3350	2190	238		
3	1500		214		905	419	1840	1121	730		
4	2100				538	720	270		200		
5	2700		320	771		172	585				
6	3300		236	220							
7	3900					238					
8	4500										370
9	5100										
10	5700										
OB	6300										

単位:g

試番9 粒子:A

ブロック区分(mm)		OB	A	B	C	D	E	F	G	H	OB
		2300	2025	1500	900	300	-300	-900	-1500	-2025	-2300
-1	-1000						400				
0	-300				1494	10620	14480	1986			
1	300	12			4140	18570	14060	3530	28		
2	900			258	1230	677	1082	1500	147	14	
3	1500			110	98	184	270	86	86	22	
4	2100		36	44	62	25	62	44	50	8	25
5	2700		12	12	30		10	40	10	10	
6	3300			12		12	10				12
7	3900								16		
8	4500										
9	5100										
10	5700										
OB	6300										

単位:g

試番9 粒子:細粒分

ブロック区分(mm)		OB	A	B	C	D	E	F	G	H	OB
		2300	2025	1500	900	300	-300	-900	-1500	-2025	-2300
-1	-1000						7120				
0	-300				556	5744	7480	1004			
1	300				782	8540	5560	630			
2	900										
3	1500										
4	2100										
5	2700										
6	3300										
7	3900										
8	4500										
9	5100										
10	5700										

単位:g

表 3. 2. 1 2 (1) 砕石粒子群転動試験 測定結果 試番 9

転動実験データシート 個数分布  
試番9 粒子:B

ブロック区分(mm)		OB	A	B	C	D	E	F	G	H	OB
		2300	2025	1500	900	300	-300	-900	-1500	-2025	-2300
-1	-1000										
0	-300					1					
1	300				1	13	15	1			
2	900			2	5	18	13	10	1		
3	1500		1		4	2	7	4	3		
4	2100				2	3	1		1		
5	2700		1	3		1	3				
6	3300		1	1							
7	3900					1					
8	4500										1
9	5100										
10	5700										
OB	6300										

単位:個



表3. 2. 1 2 (m) 砕石粒子群転動試験 測定結果 試番10

転動実験データシート 質量分布

試番10 粒子:A

ブロック区分(mm)		OB	A	B	C	D	E	F	G	H	OB
		2300	2025	1500	900	300	-300	-900	-1500	-2025	-2300
-1	-1000										
0	-300				254	7240	5410	174			
1	300			104	13060	40700	44560	14640	132		
2	900		60	1128	4168	4046	4200	3712	932	36	
3	1500		76	332	526	486	546	504	444	50	43
4	2100	11	50	92	228	174	182	142	38	34	21
5	2700		12	62	50	66	60	42	48		
6	3300		12	18	36		38	22	8		11
7	3900		8		20	12	14	26	28		
8	4500										
9	5100										
10	5700										
OB	6300										

単位:g

表3. 2. 1 2 (n) 砕石粒子群転動試験 測定結果 試番1 1

転動実験データシート 質量分布  
試番11 粒子:A

ブロック区分(mm)		OB	A	B	C	D	E	F	G	H	OB
		2300	2025	1500	900	300	-300	-900	-1500	-2025	-2300
-1	-1000										
0	-300				620	7850	10940	1440			
1	300			14	9210	34040	33870	8960	56		11
2	900	22	60	386	1968	2864	2920	1720	422		
3	1500	11		166	422	484	382	238	190	46	
4	2100	11	10	90	96	116	188	148	114	10	
5	2700	10		14	10	10	58	18			11
6	3300	10	14	10	12	8	12	26			
7	3900				10		10				
8	4500										12
9	5100										
10	5700										
OB	6300						12				

単位:g

試番11 粒子:細粒分

ブロック区分(mm)		OB	A	B	C	D	E	F	G	H	OB
		2300	2025	1500	900	300	-300	-900	-1500	-2025	-2300
-1	-1000						2072				
0	-300				604	3934	5040	1092			
1	300				1030	7200	6100	1338			
2	900										
3	1500										
4	2100										
5	2700										
6	3300										
7	3900										
8	4500										
9	5100										
10	5700										

単位:g

表3. 2. 1 2 (o) 砕石粒子群転動試験 測定結果 試番1 2

転動実験データシート 質量分布

試番12 粒子:A

ブロック区分(mm)		OB	A	B	C	D	E	F	G	H	OB
		2300	2025	1500	900	300	-300	-900	-1500	-2025	-2300
-1	-1000					312					
0	-300				2210	11640	13920	1640			
1	300				4950	24590	20530	3984	20		
2	900		20	192	930	1102	1078	530	136	16	
3	1500		30	120	382	286	298	306	100		
4	2100	16	22	12	32	180	124	36	48	8	
5	2700					34	36	52	38	8	
6	3300					24	16		10	8	
7	3900				12						
8	4500							12			
9	5100										
10	5700										
OB	6300										

単位:g

試番12 粒子:細粒分

ブロック区分(mm)		OB	A	B	C	D	E	F	G	H	OB
		2300	2025	1500	900	300	-300	-900	-1500	-2025	-2300
-1	-1000					5850					
0	-300				1630	9050	11920	2100			
1	300				2210	13200	10550	1764			
2	900										
3	1500										
4	2100										
5	2700										
6	3300										
7	3900										
8	4500										
9	5100										
10	5700										

単位:g

表3. 2. 1 2 (p) 砕石粒子群転動試験 測定結果 試番13

転動実験データシート 質量分布

試番13 粒子:A

ブロック区分(mm)		OB	A	B	C	D	E	F	G	H	OB
		2300	2025	1500	900	300	-300	-900	-1500	-2025	-2300
-1	-1000										
0	-300										
1	300			136	8640	54160	52280	8480	134		
2	900	8		146	1846	8590	9690	1952	78	8	
3	1500	16	10	84	278	770	878	392	20	10	8
4	2100			16	46	104	202	84	24		8
5	2700			20	14	38	36	20	10		
6	3300			18		10		16			
7	3900						6				
8	4500										
9	5100										
10	5700										
OB	6300										

単位:g

表3. 2. 1 2 (q) 砕石粒子群転動試験 測定結果 試番1 3

転動実験データシート 質量分布  
試番14 粒子:B

ブロック区分(mm)		OB	A	B	C	D	E	F	G	H	OB
		2300	2025	1500	900	300	-300	-900	-1500	-2025	-2300
-1	-1000										
0	-300										
1	300			276	10010	27090	27780	8830	812		
2	900			452	5780	20520	21620	6720			
3	1500	235		784	2014	3260	3230	2328	704		235
4	2100	234	612	184	684	1044	1520		390	278	
5	2700				546	432	326			228	
6	3300					234	434				
7	3900										
8	4500										
9	5100										
10	5700										
OB	6300										

単位:g

転動実験データシート 個数分布  
試番14 粒子:B

ブロック区分(mm)		OB	A	B	C	D	E	F	G	H	OB
		2300	2025	1500	900	300	-300	-900	-1500	-2025	-2300
-1	-1000										
0	-300										
1	300			1	43	116	119	39	4		
2	900			2	25	81	91	27			
3	1500	1		3	8	14	13	10	3		1
4	2100	1	2	1	3	4	6		2	1	
5	2700				2	2	1			1	
6	3300					1	1				
7	3900										
8	4500										
9	5100										
10	5700										
OB	6300										

単位:個

表3. 2. 1 2 (r) 砕石粒子群転動試験 測定結果 試番15

転動実験データシート 質量分布  
試番15 粒子:B

ブロック区分(mm)		OB	A	B	C	D	E	F	G	H	OB
		2300	2025	1500	900	300	-300	-900	-1500	-2025	-2300
-1	-1000										
0	-300										
1	300				1334	5270	7330	2900			
2	900				2860	7810	7510	1655	355		
3	1500					1564	990	610			
4	2100					260	685	233	336	240	
5	2700										
6	3300		275			420					
7	3900										
8	4500										
9	5100										
10	5700										
OB	6300										

単位:g

試番15 粒子:A

ブロック区分(mm)		OB	A	B	C	D	E	F	G	H	OB
		2300	2025	1500	900	300	-300	-900	-1500	-2025	-2300
-1	-1000										
0	-300										
1	300	10	10	130	6890	39330	34250	5980	82		21
2	900	20	32	228	1004	7330	7420	1046	197	16	83
3	1500	20	10	56	246	627	615	123	44	28	
4	2100		26	40	136	283	209	98	74	49	10
5	2700	10	12		46	48	48	48	52	24	10
6	3300		67		12	37	40	26	38	20	
7	3900	10									10
8	4500									16	
9	5100						20				
10	5700					16					
OB	6300										

単位:g

転動実験データシート 個数分布

試番15 粒子:B

ブロック区分(mm)		OB	A	B	C	D	E	F	G	H	OB
		2300	2025	1500	900	300	-300	-900	-1500	-2025	-2300
-1	-1000										
0	-300										
1	300				6	23	32	13			
2	900				12	34	32	7	1		
3	1500					7	5	3			
4	2100					1	3	1	1	1	
5	2700										
6	3300		1			1					
7	3900										
8	4500										
9	5100										
10	5700										
OB	6300										

単位:個

表3. 2. 1 2(s) 砕石粒子群転動試験 測定結果 試番16

転動実験データシート 質量分布  
試番16 粒子:B

ブロック区分(mm)		OB	A	B	C	D	E	F	G	H	OB
		2300	2025	1500	900	300	-300	-900	-1500	-2025	-2300
-1	-1000										
0	-300										
1	300				2220	9390	5300	3870			
2	900				1042	2960	2900	1130			
3	1500				301	1055	333				
4	2100										
5	2700										
6	3300										
7	3900										
8	4500										
9	5100										
10	5700										
OB	6300										

単位:g

試番16 粒子:A

ブロック区分(mm)		OB	A	B	C	D	E	F	G	H	OB
		2300	2025	1500	900	300	-300	-900	-1500	-2025	-2300
-1	-1000										
0	-300				242	3370	3440	494			
1	300			28	4640	22340	24950	5590	30		
2	900			30	640	3770	3960	677	40		
3	1500			40	98	221	222	38	34		
4	2100			12	34	72	46	20			
5	2700				12	42	12				
6	3300				18						
7	3900										
8	4500										
9	5100										
10	5700										
OB	6300										

単位:g

試番16 粒子:細粒分

ブロック区分(mm)		OB	A	B	C	D	E	F	G	H	OB
		2300	2025	1500	900	300	-300	-900	-1500	-2025	-2300
-1	-1000										
0	-300					2340	2000				
1	300				2900	12920	13280	3160			
2	900					4165	2360				
3	1500										
4	2100										
5	2700										
6	3300										
7	3900										
8	4500										
9	5100										
10	5700										

単位:g

表3. 2. 1 2 (s) 砕石粒子群転動試験 測定結果 試番16

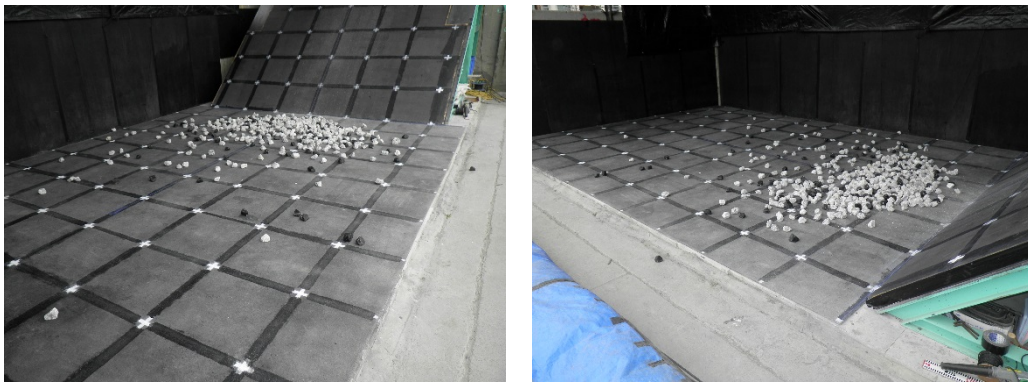
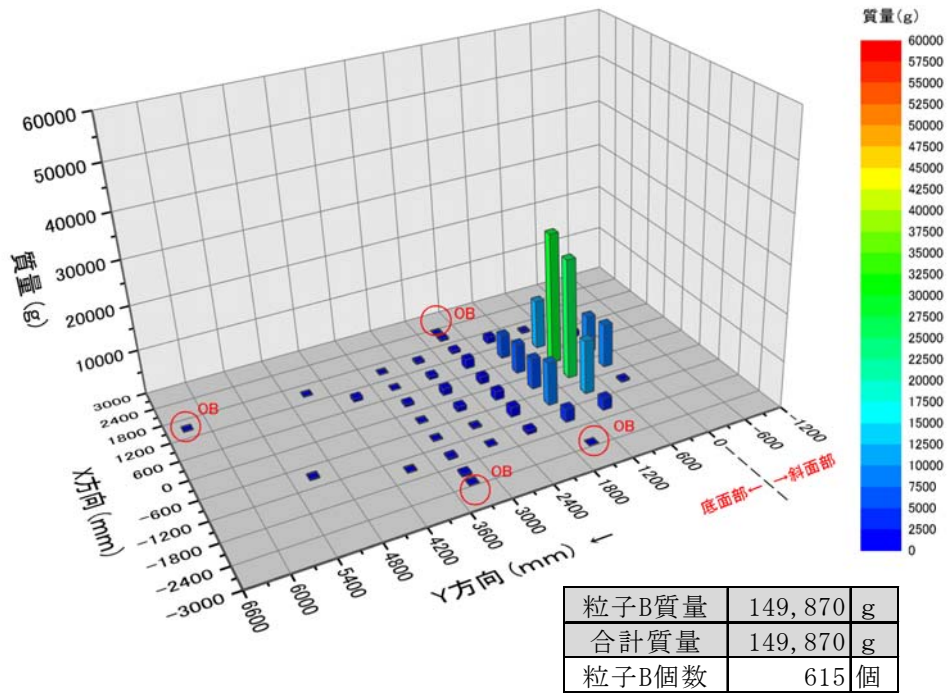
転動実験データシート 個数分布  
試番16 粒子:B

ブロック区分(mm)		OB	A	B	C	D	E	F	G	H	OB
		2300	2025	1500	900	300	-300	-900	-1500	-2025	-2300
-1	-1000										
0	-300										
1	300				10	32	18	13			
2	900				4	10	10	4			
3	1500				1	4	1				
4	2100										
5	2700										
6	3300										
7	3900										
8	4500										
9	5100										
10	5700										
OB	6300										

単位:個



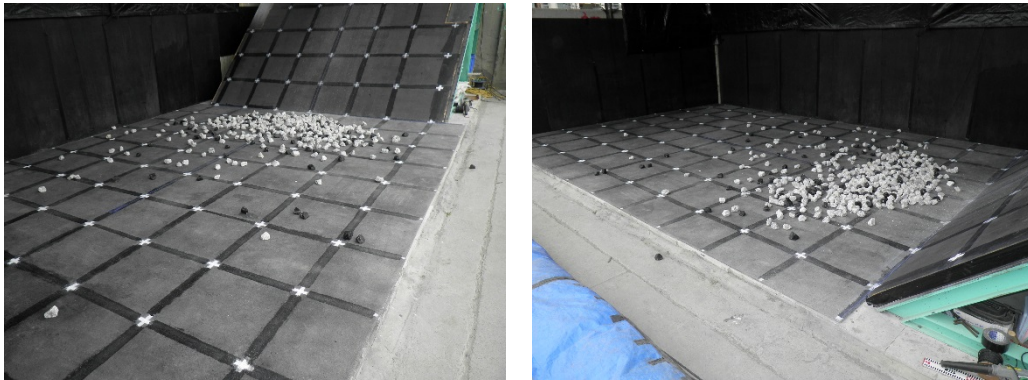
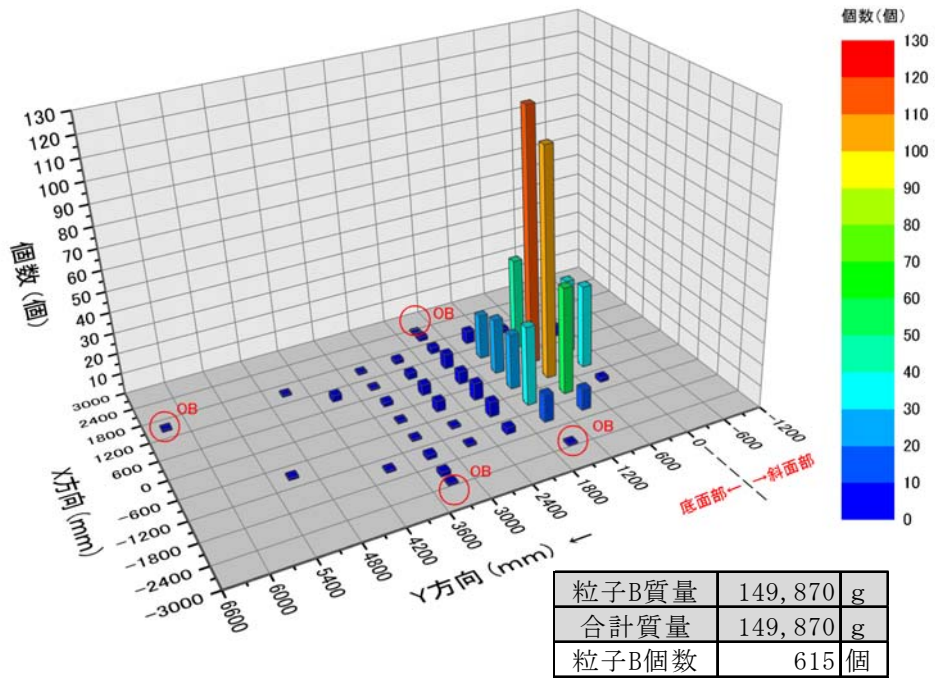
試番1  
粒子:B



崩落状況 [試番 1]

図 3. 2. 8 4 (a) 崩落した碎石の質量分布 [試番 1\_粒子 : B]

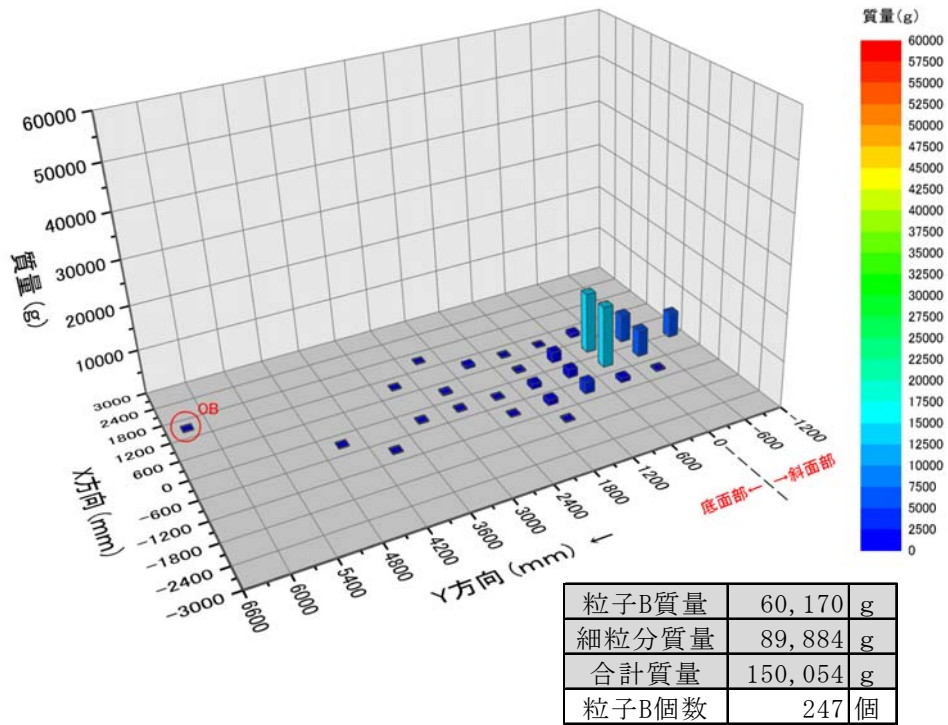
試番1  
粒子:B



崩落状況 [試番1]

図3.2.84(b) 崩落した碎石の質量分布 [試番1\_粒子:B]

試番2  
粒子:B

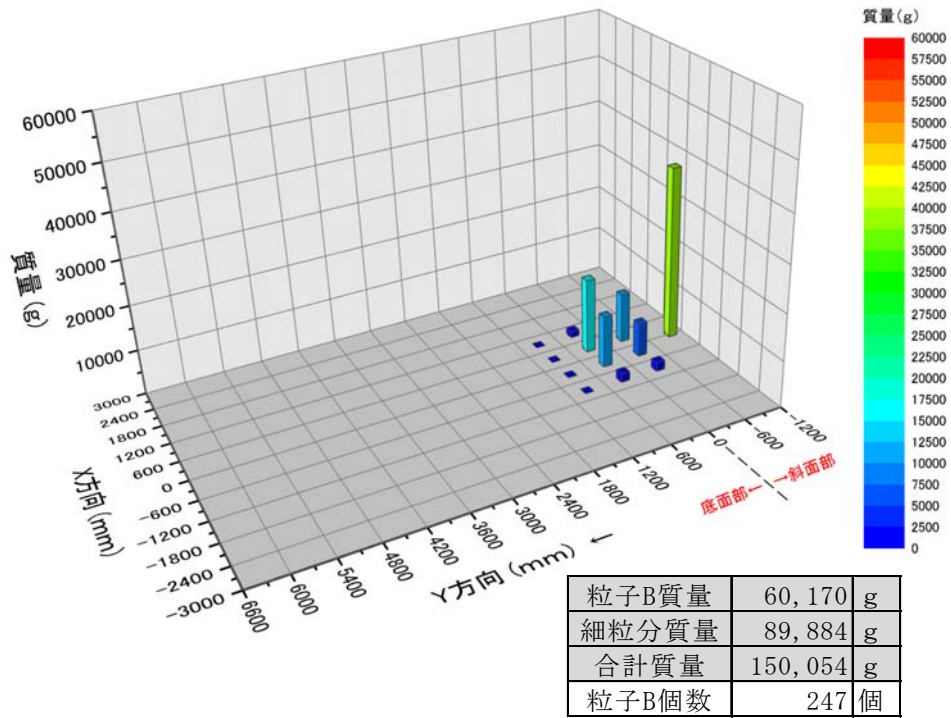


崩落状況 [試番 2]

図 3. 2. 8 4 (c) 崩落した碎石の質量分布 [試番 2\_粒子 : B]



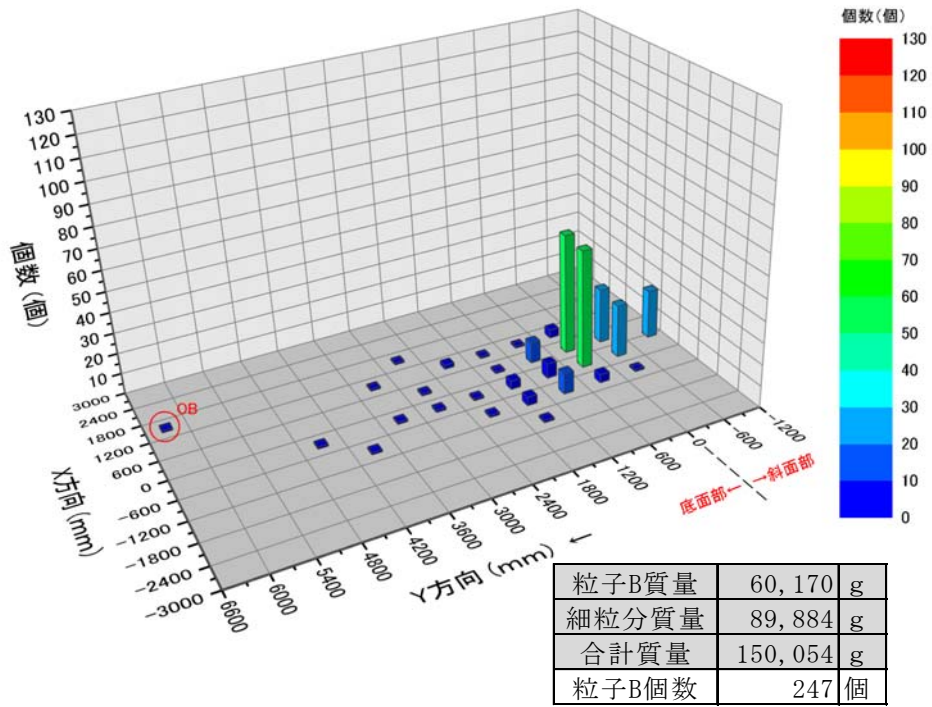
試番2  
 粒子:細粒分



崩落状況 [試番 2]

図 3. 2. 8 4 (d) 崩落した碎石の質量分布 [試番 2\_粒子:細粒分]

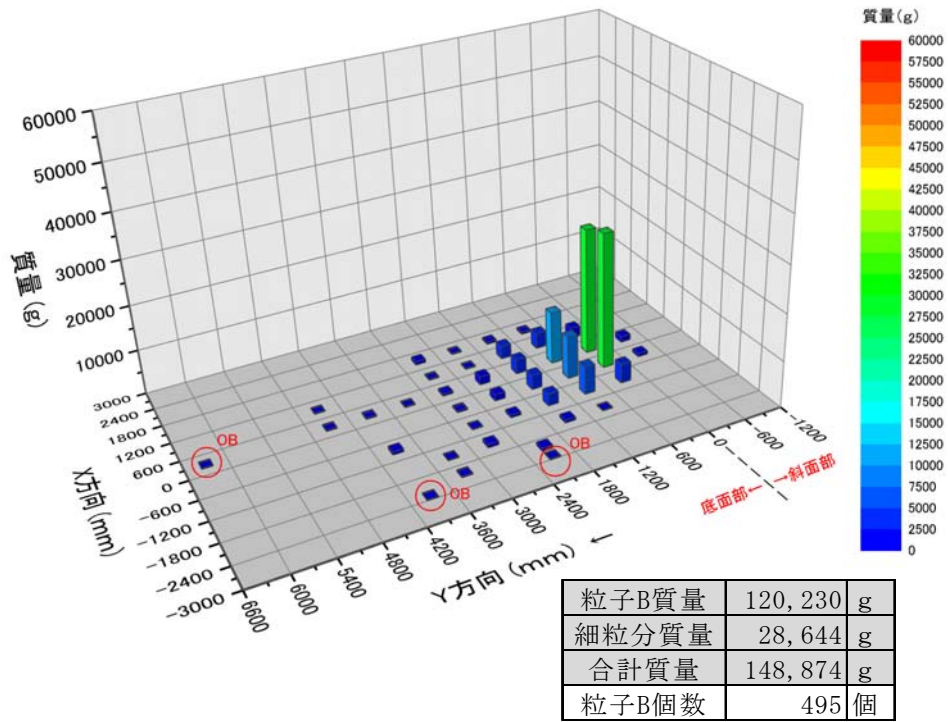
試番2  
粒子:B



崩落状況 [試番2]

図3. 2. 8 4 (e) 崩落した碎石の個数分布 [試番2\_粒子:B]

試番3  
粒子:B

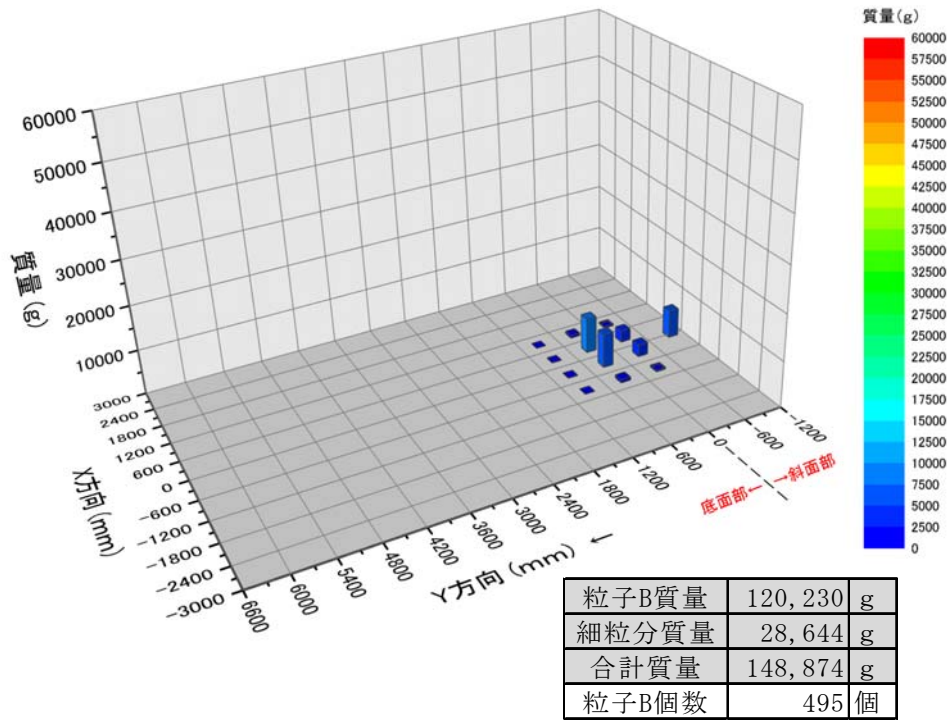


崩落状況 [試番3]

図3.2.84(f) 崩落した碎石の質量分布 [試番3\_粒子:B]



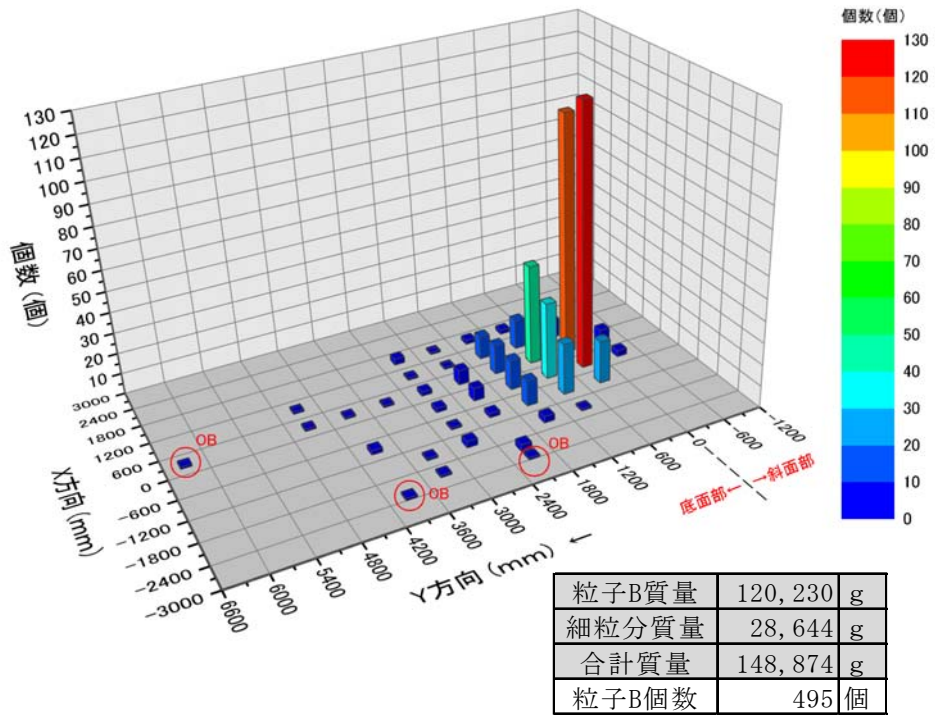
試番3  
 粒子:細粒分



崩落状況 [試番 3]

図3. 2. 8 4 (g) 崩落した碎石の質量分布 [試番 3\_粒子 : 細粒分]

試番3  
粒子:B

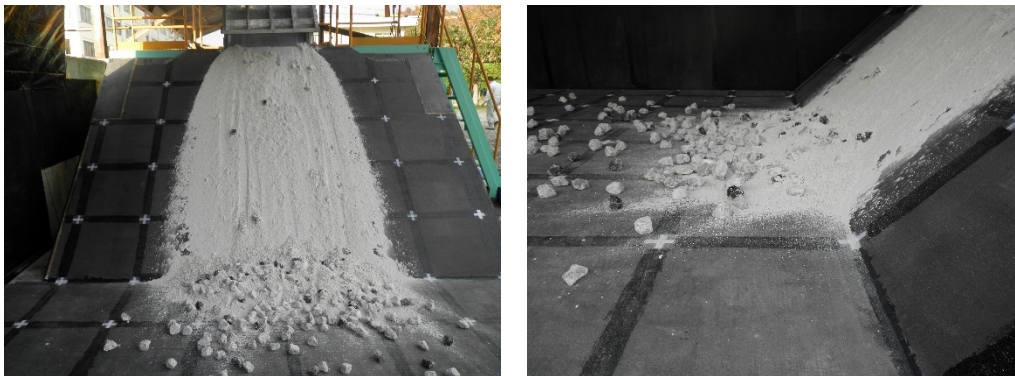
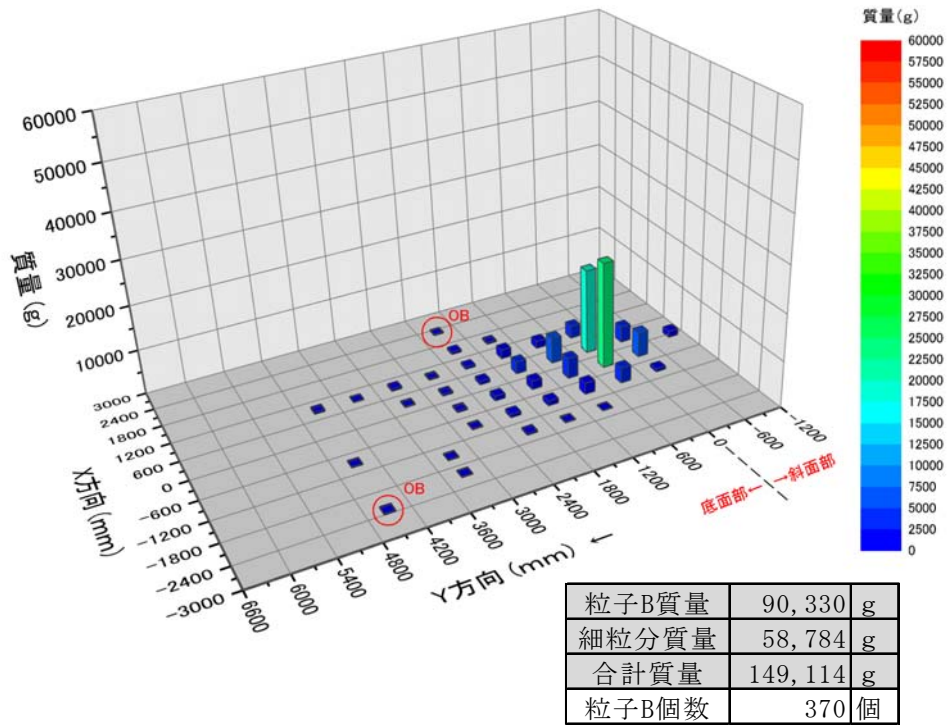


崩落状況 [試番3]

図3.2.84(h) 崩落した碎石の個数分布 [試番3\_粒子:B]



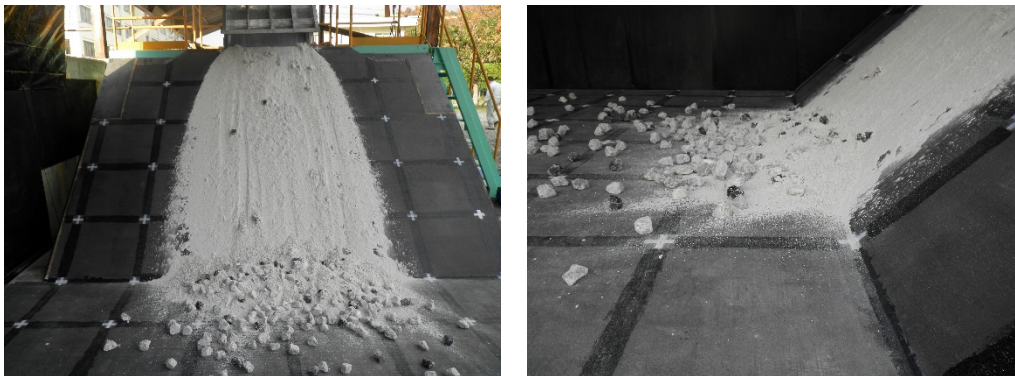
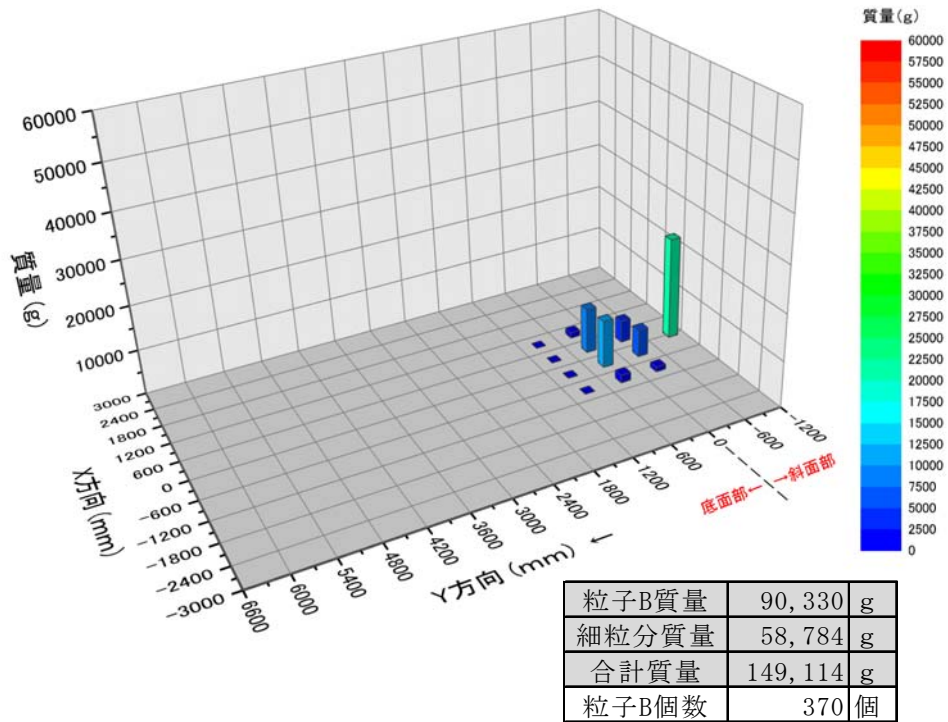
試番4  
粒子:B



崩落状況 [試番 4]

図 3. 2. 8 4 (i) 崩落した碎石の質量分布 [試番 4\_粒子 : B]

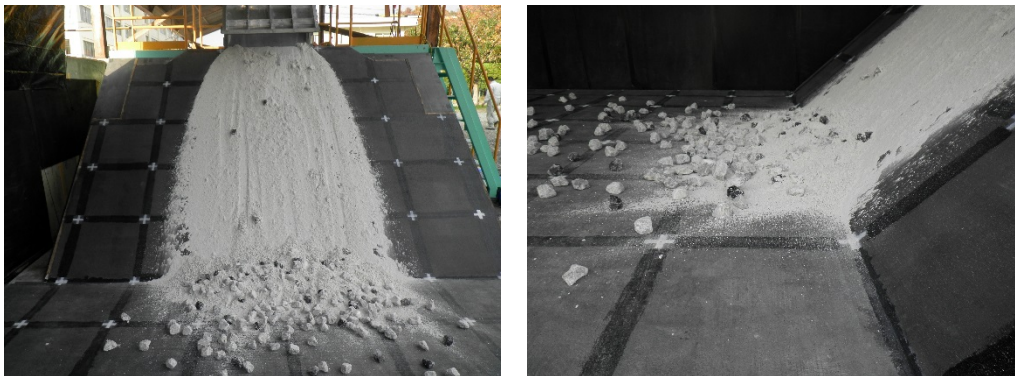
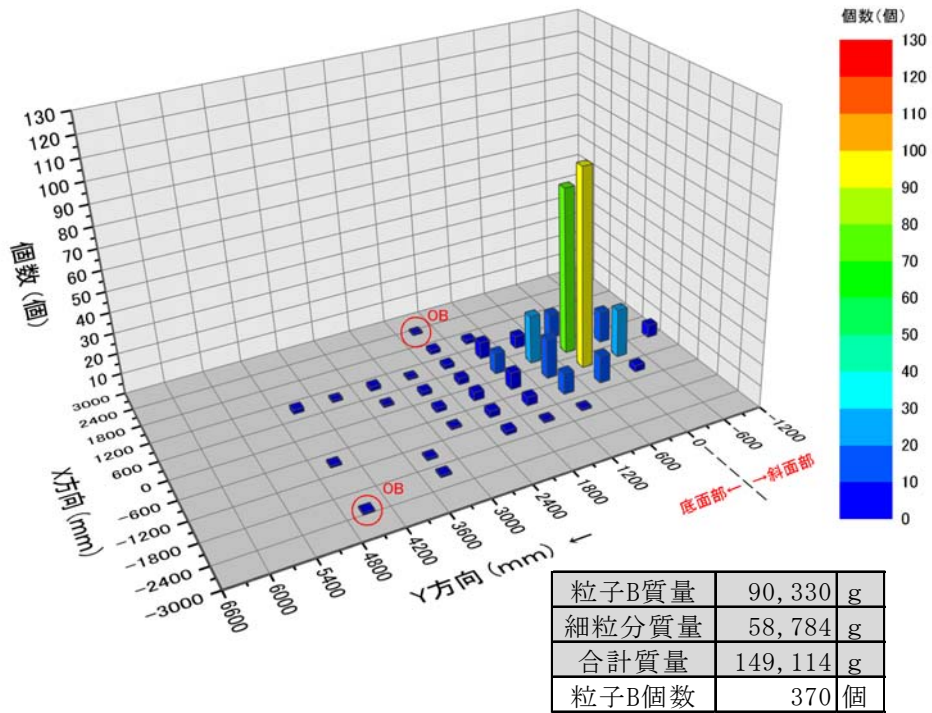
試番4  
 粒子:細粒分



崩落状況 [試番 4]

図3. 2. 8 4 (j) 崩落した碎石の質量分布 [試番 4\_粒子: 細粒分]

試番4  
粒子:B



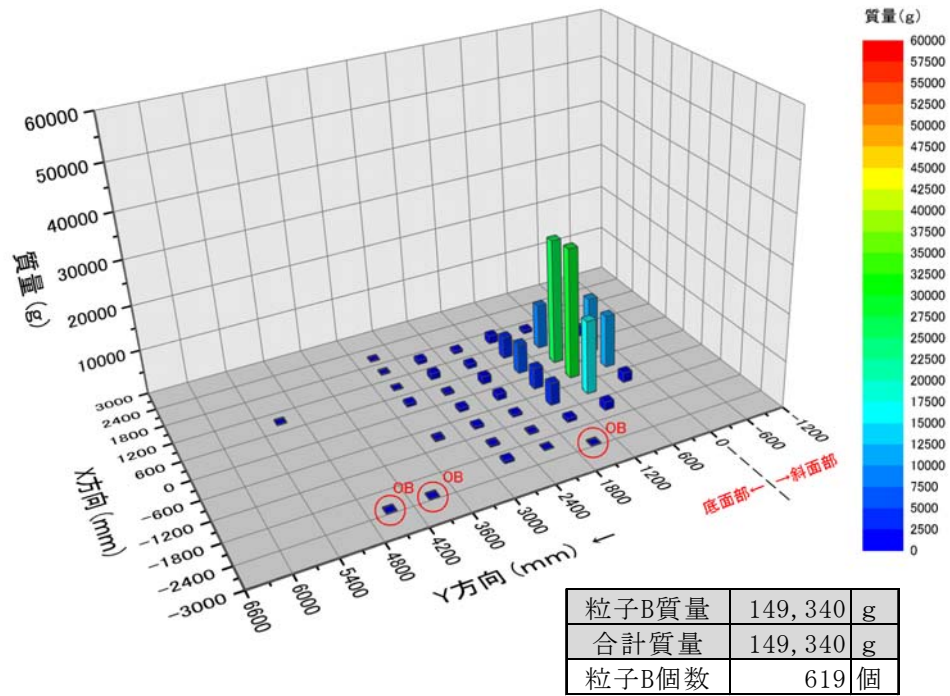
崩落状況 [試番 4]

図 3. 2. 8 4 (k) 崩落した碎石の個数分布 [試番 4\_粒子 : B]



試番5-1

粒子:B

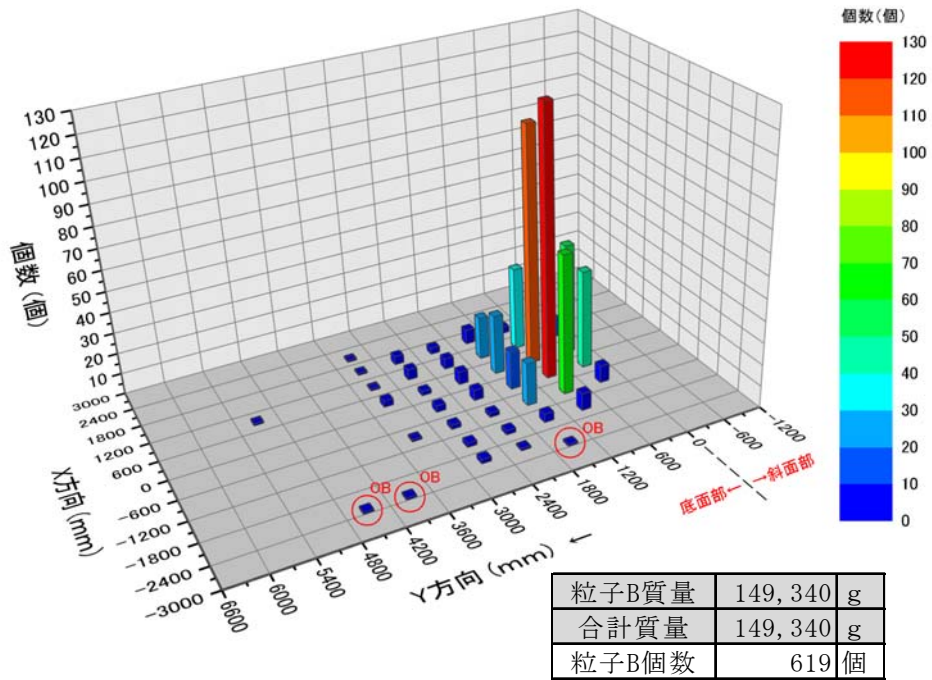


崩落状況 [試番 5-1]

図3. 2. 8 4 (1) 崩落した碎石の質量分布 [試番 5-1\_粒子 : B]

試番5-1

粒子:B

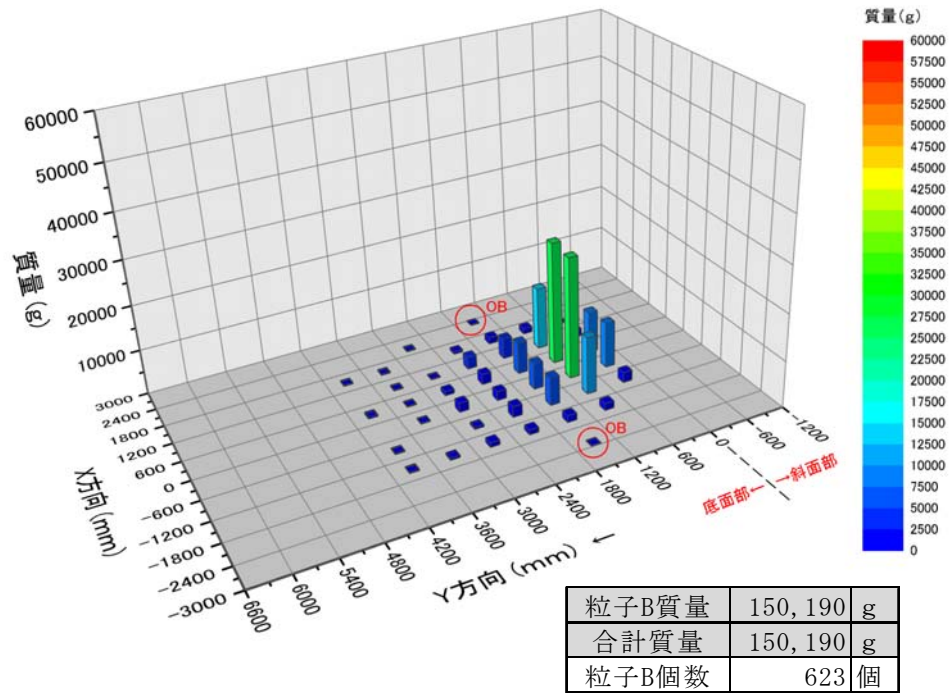


崩落状況 [試番 5-1]

図 3. 2. 8 4 (m) 崩落した碎石の個数分布 [試番 5-1\_粒子 : B]

試番5-2

粒子:B



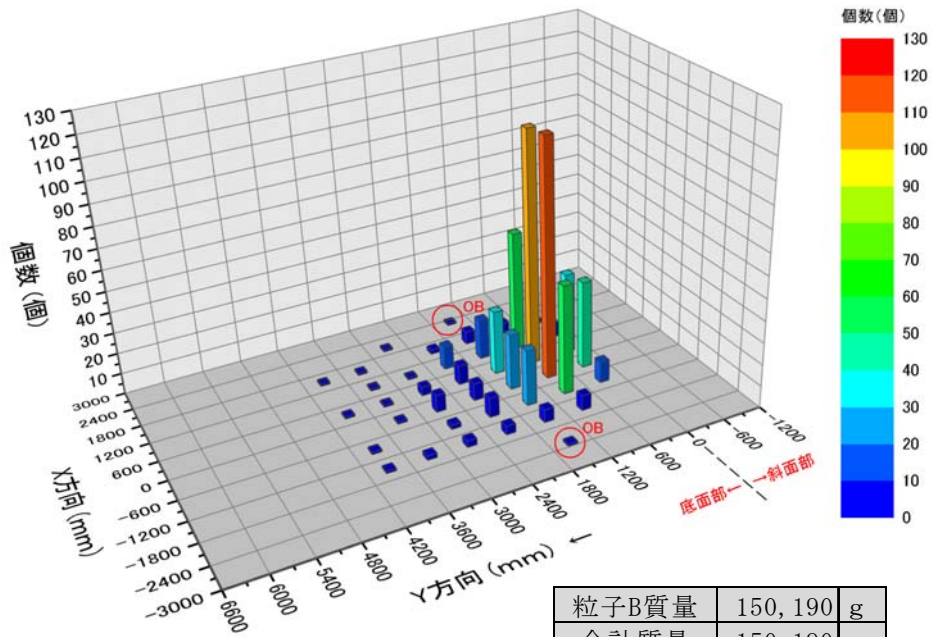
崩落状況 [試番 5-2]

図 3. 2. 8 4 (n) 崩落した碎石の質量分布 [試番 5-2\_粒子 : B]



試番5-2

粒子:B



粒子B質量	150,190	g
合計質量	150,190	g
粒子B個数	623	個

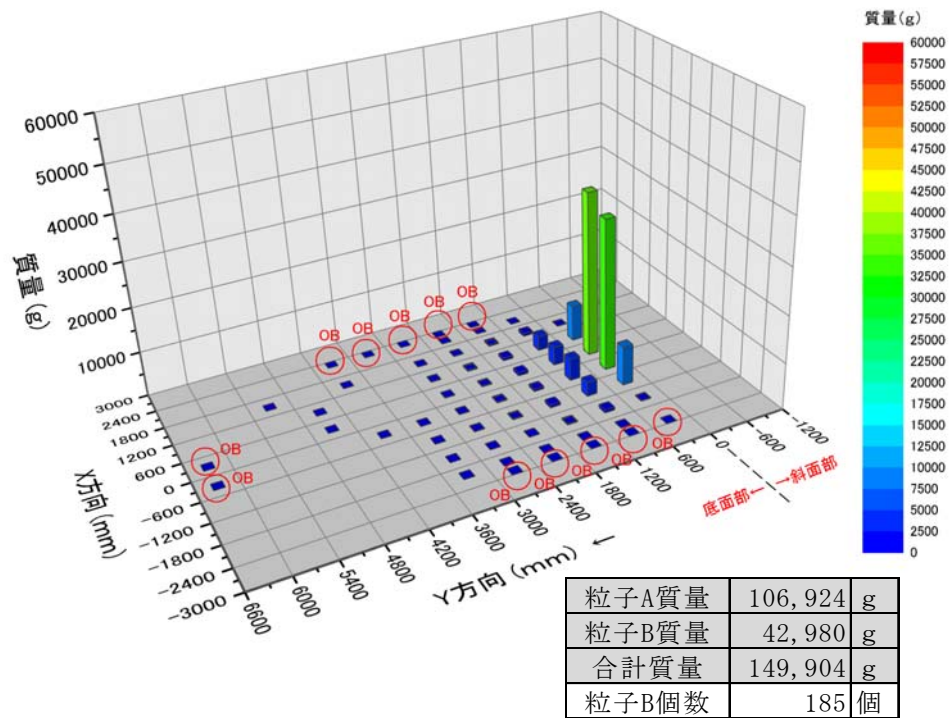


崩落状況 [試番 5-2]

図 3. 2. 8 4 (o) 崩落した碎石の個数分布 [試番 5-2\_粒子 : B]

試番6-1

粒子:A



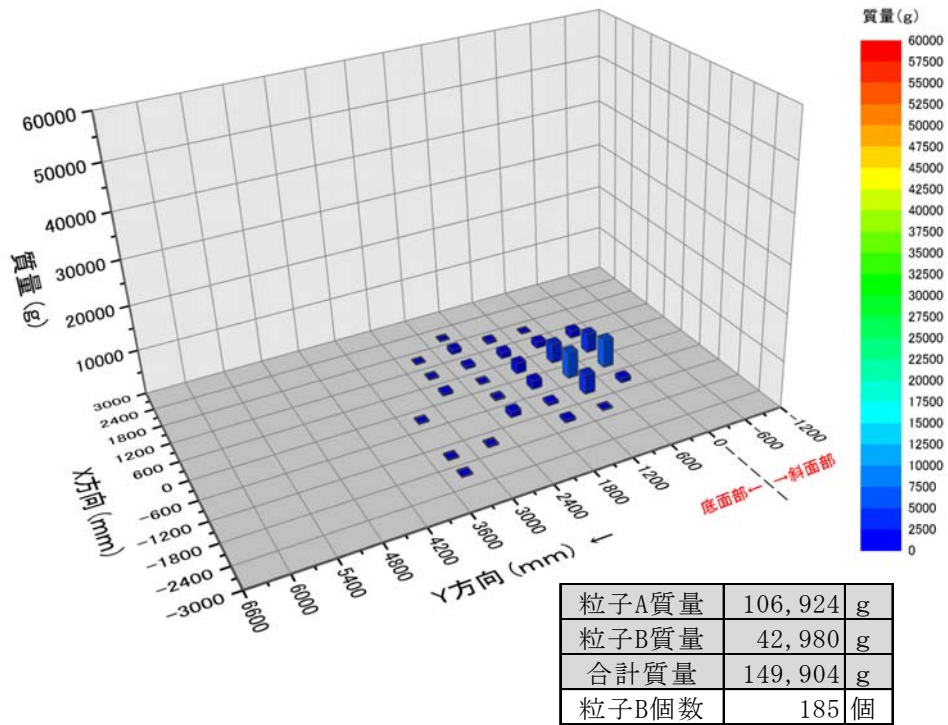
崩落状況 [試番 6-1]

図 3. 2. 8 4 (p) 崩落した碎石の質量分布 [試番 6-1\_粒子 : A]



試番6-1

粒子:B

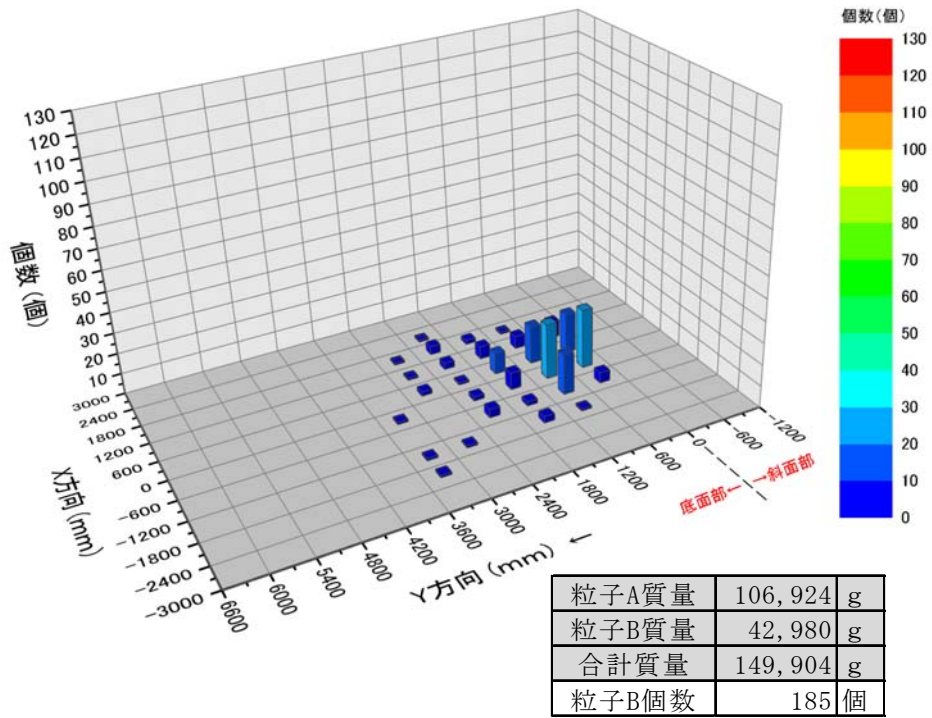


崩落状況 [試番 6-1]

図 3. 2. 8 4 (q) 崩落した碎石の質量分布 [試番 6-1\_粒子 : B]

試番6-1

粒子:B

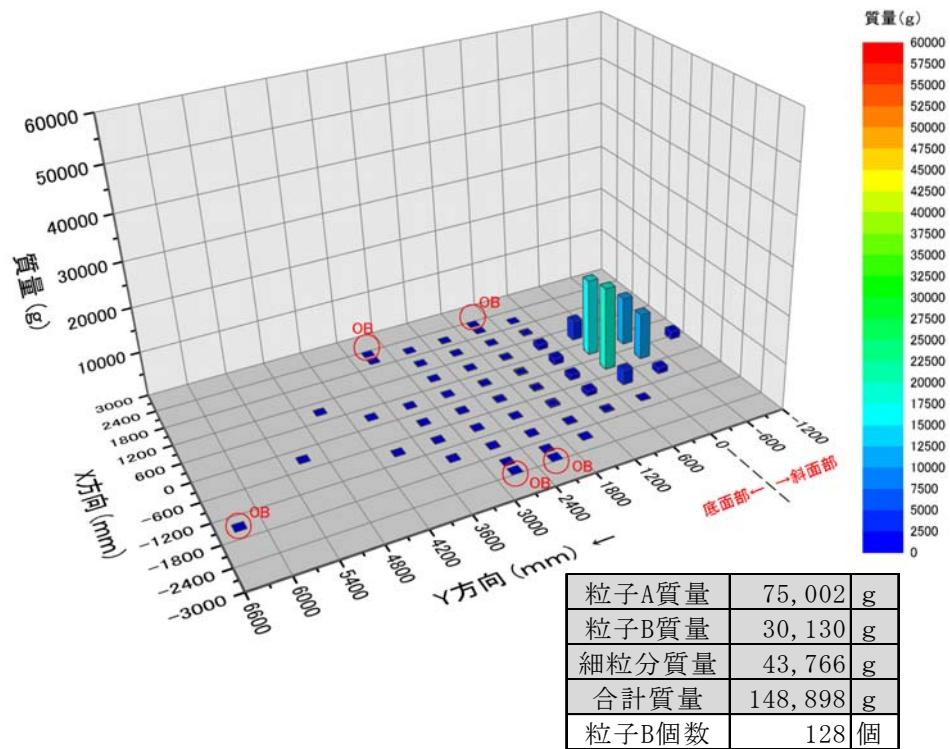


崩落状況 [試番 6-1]

図 3. 2. 8 4 (r) 崩落した碎石の個数分布 [試番 6-1\_粒子 : B]

試番6-2

粒子:A



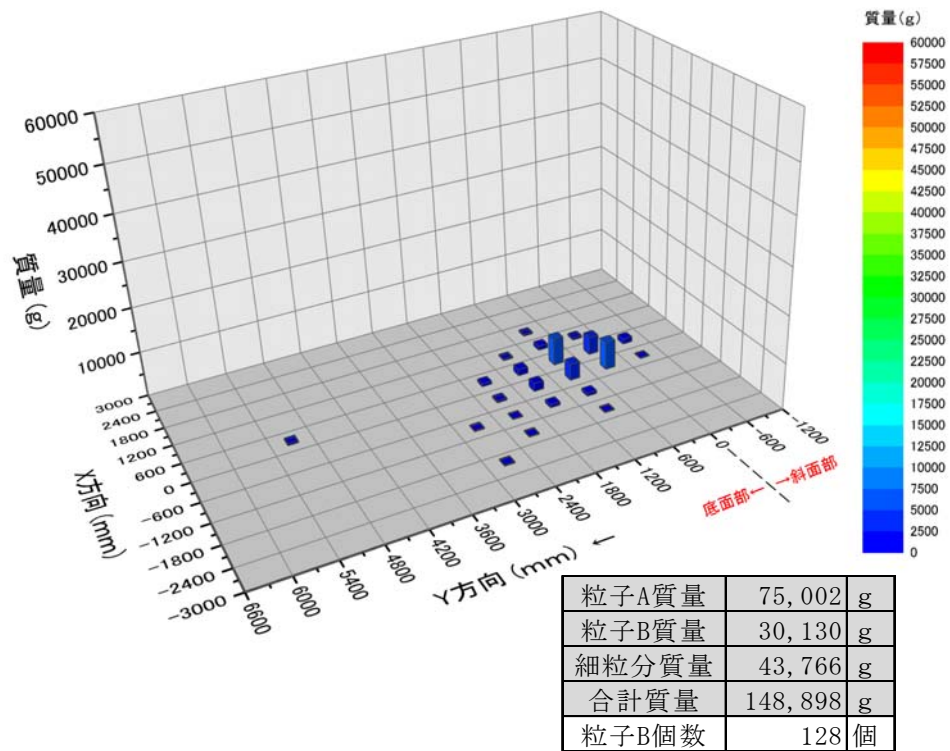
崩落状況 [試番 6-2]

図 3. 2. 8 4 (s) 崩落した碎石の質量分布 [試番 6-2\_粒子 : A]



試番6-2

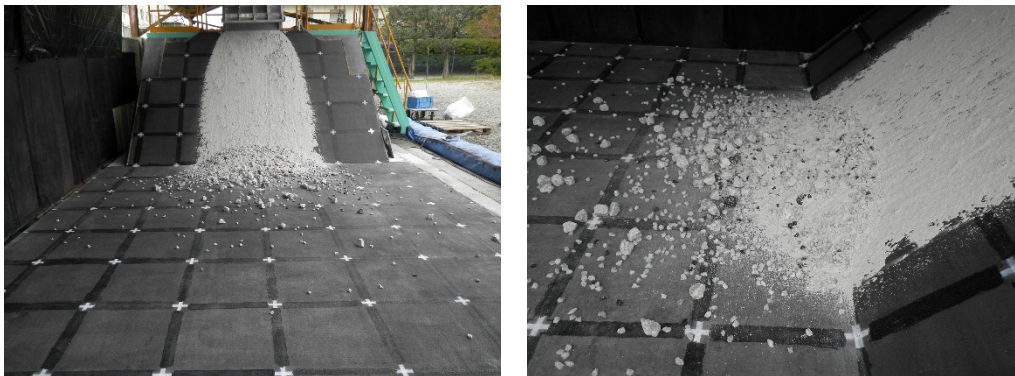
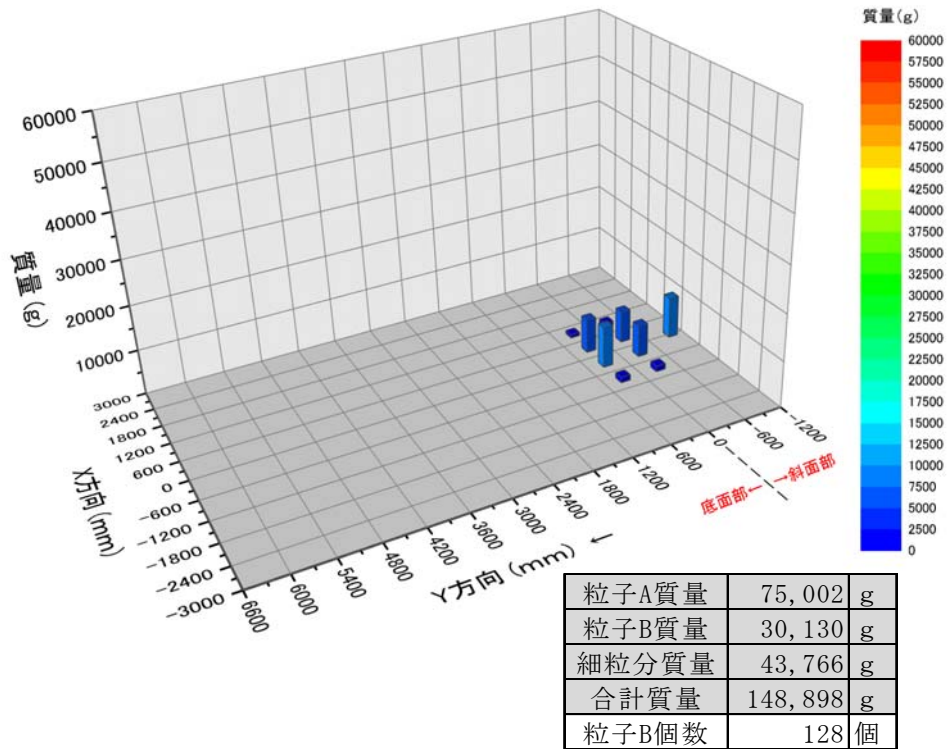
粒子:B



崩落状況 [試番 6-2]

図 3. 2. 8 4 (t) 崩落した碎石の質量分布 [試番 6-2\_粒子 : B]

試番6-2  
 粒子:細粒分

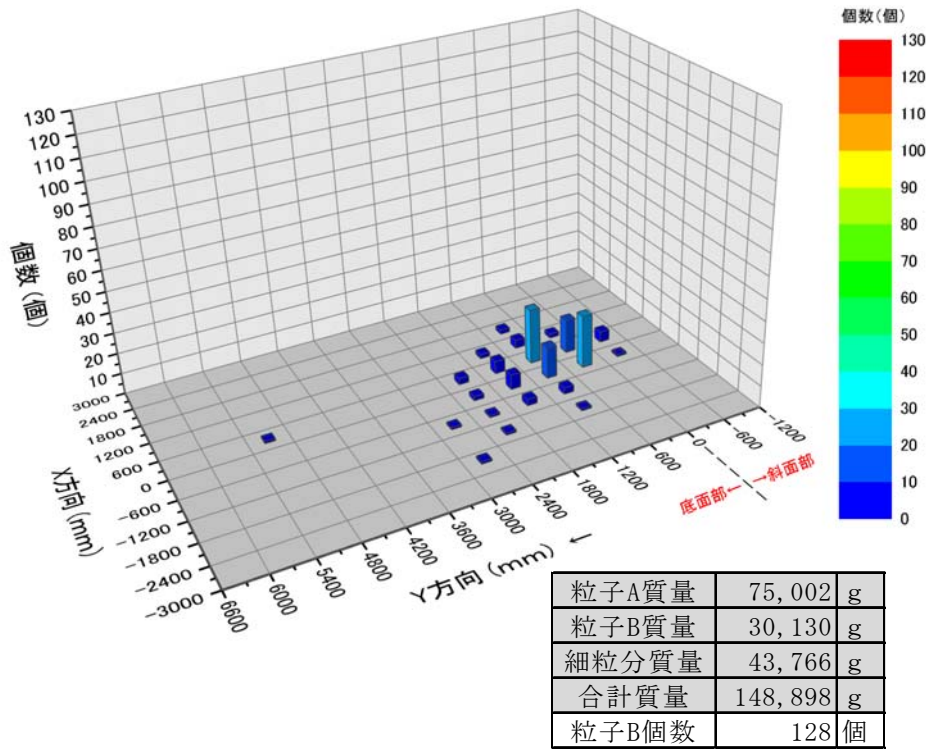


崩落状況 [試番 6-2]

図3. 2. 8 4 (u) 崩落した碎石の質量分布 [試番 6-2\_粒子 : 細粒分]

試番6-2

粒子:B



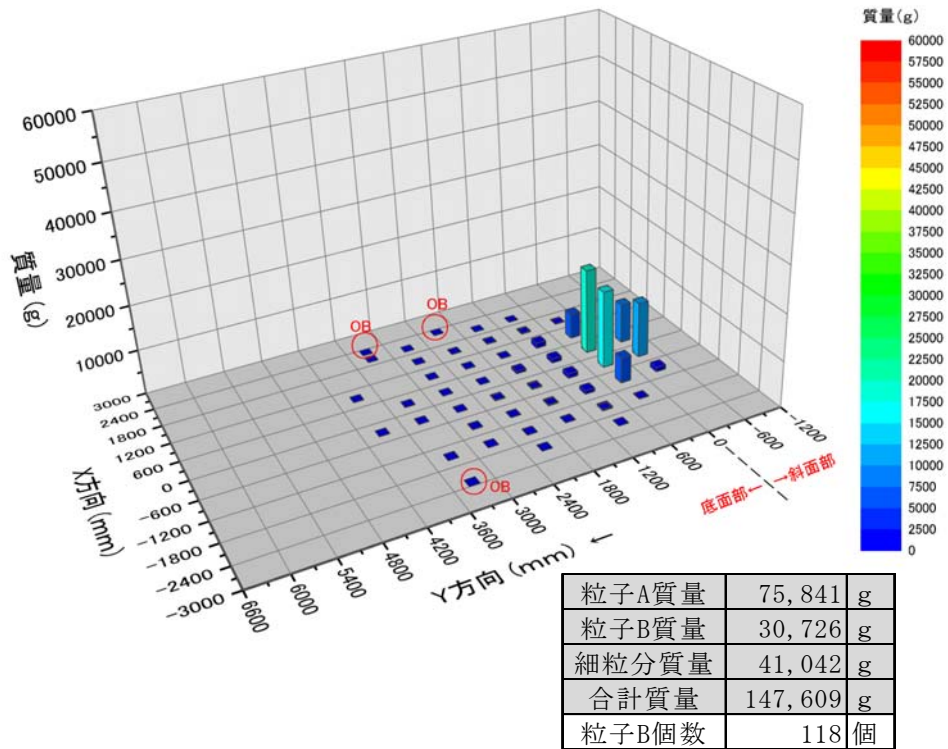
崩落状況 [試番 6-2]

図3. 2. 8 4 (v) 崩落した碎石の個数分布 [試番 6-2\_粒子 : B]



試番7

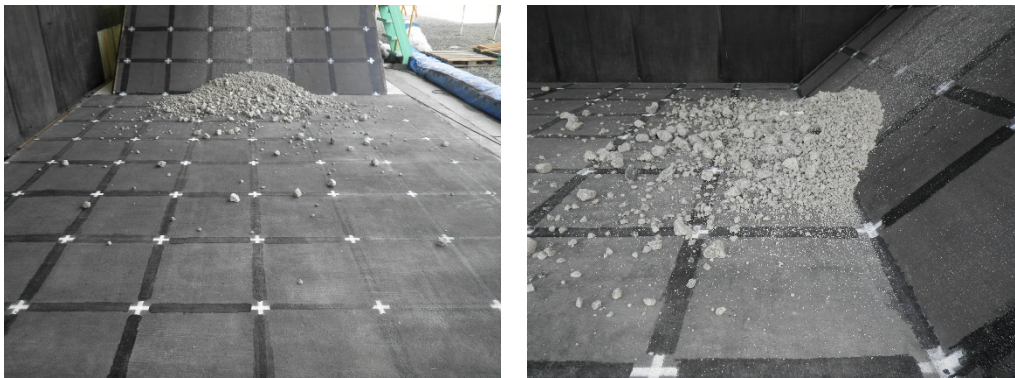
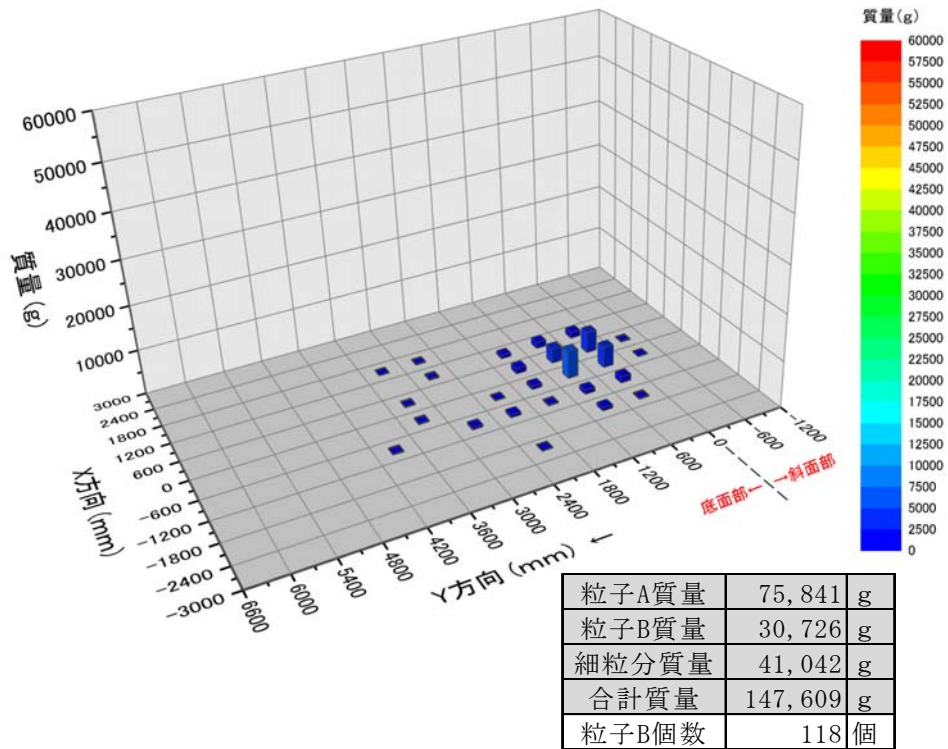
粒子:A



崩落状況 [試番7]

図3.2.84(w) 崩落した碎石の質量分布 [試番7\_粒子:A]

試番7  
粒子:B

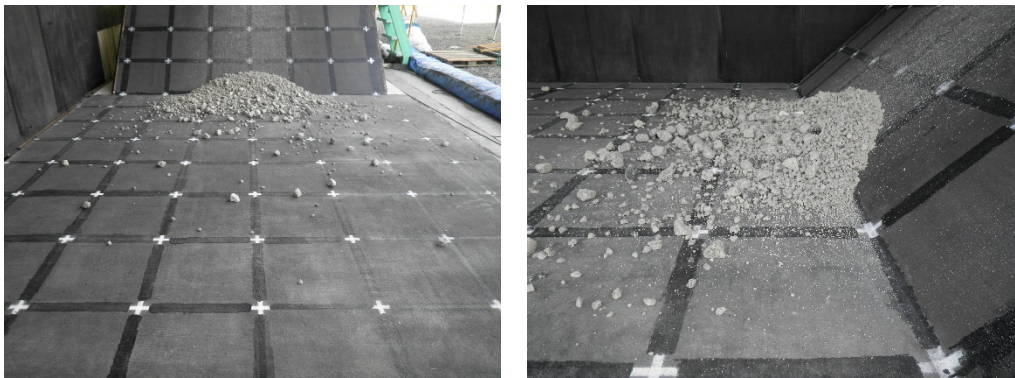
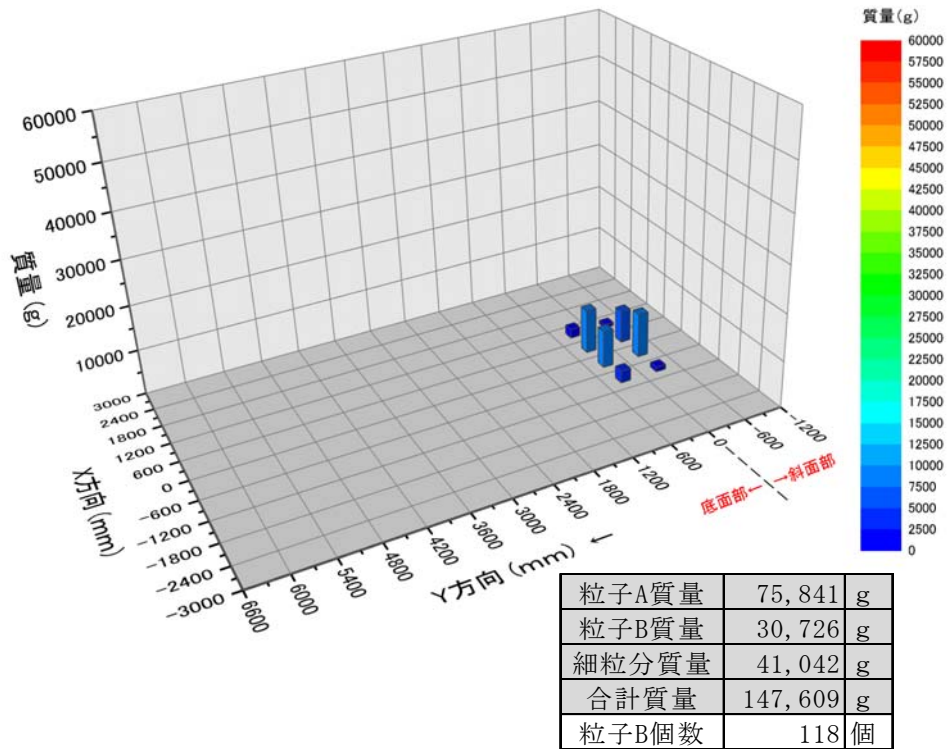


崩落状況 [試番7]

図3.2.84(x) 崩落した碎石の質量分布 [試番7\_粒子:B]



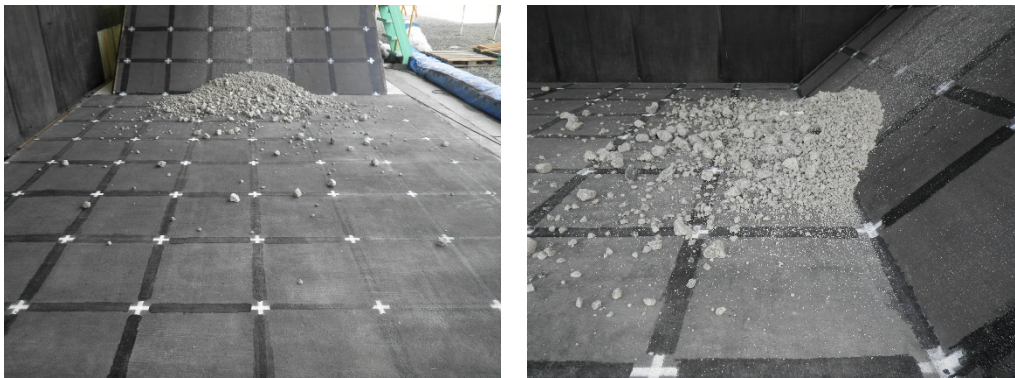
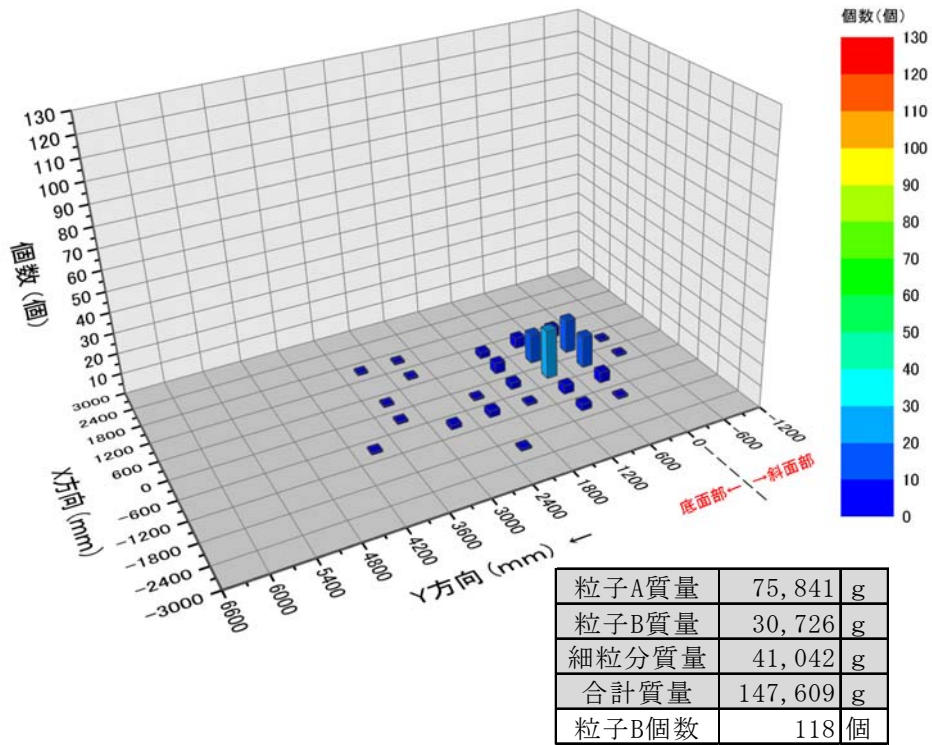
試番7  
 粒子:細粒分



崩落状況 [試番7]

図3.2.84(y) 崩落した碎石の質量分布 [試番7\_粒子:細粒分]

試番7  
粒子:B

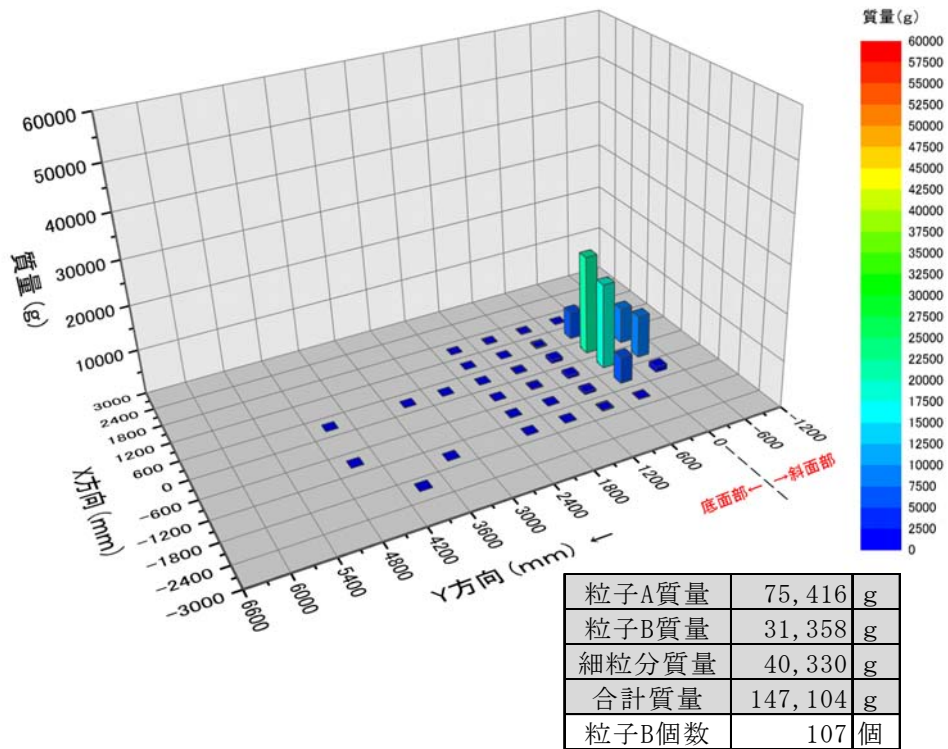


崩落状況 [試番7]

図3.2.84(z) 崩落した碎石の個数分布 [試番7\_粒子:B]

試番8

粒子:A

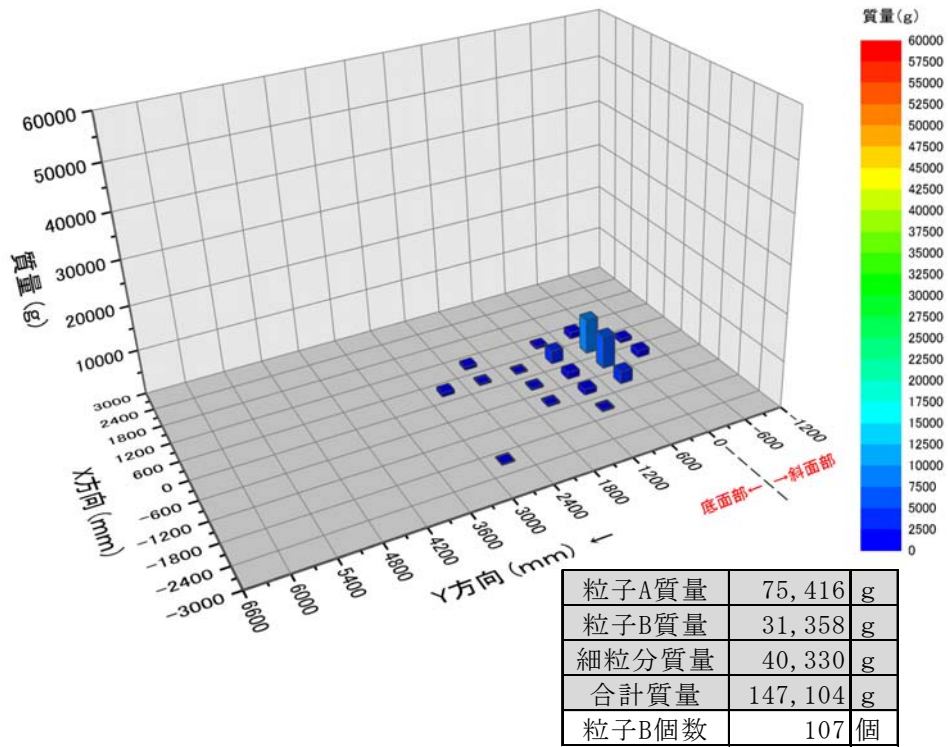


崩落状況 [試番8]

図3.2.84(aa) 崩落した碎石の質量分布 [試番8\_粒子:A]



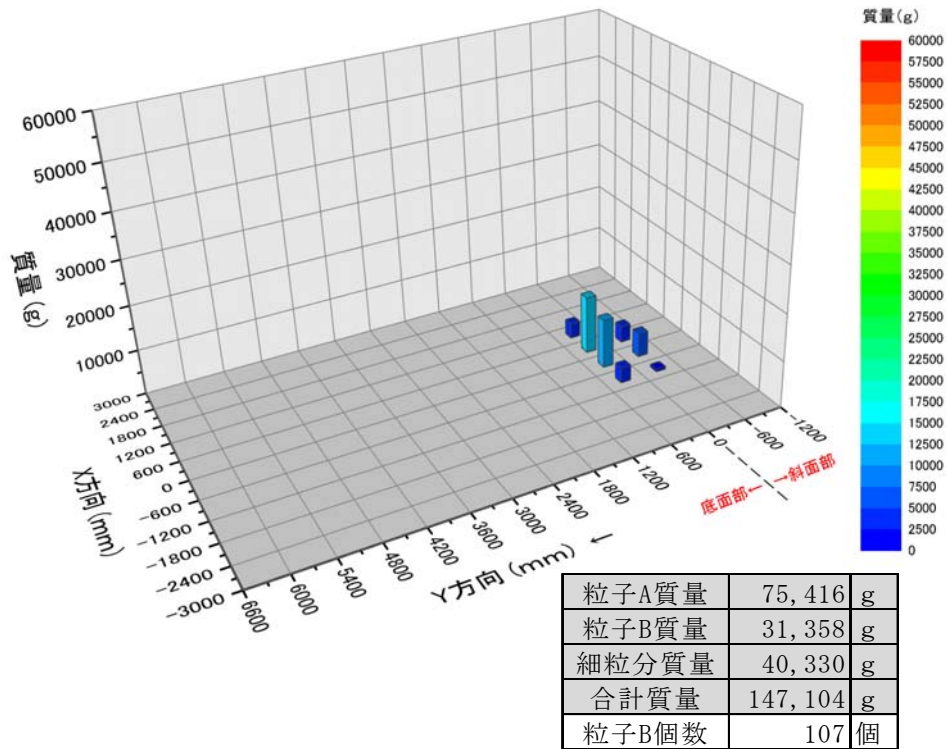
試番8  
粒子:B



崩落状況 [試番8]

図3.2.84(ab) 崩落した碎石の質量分布 [試番8\_粒子:B]

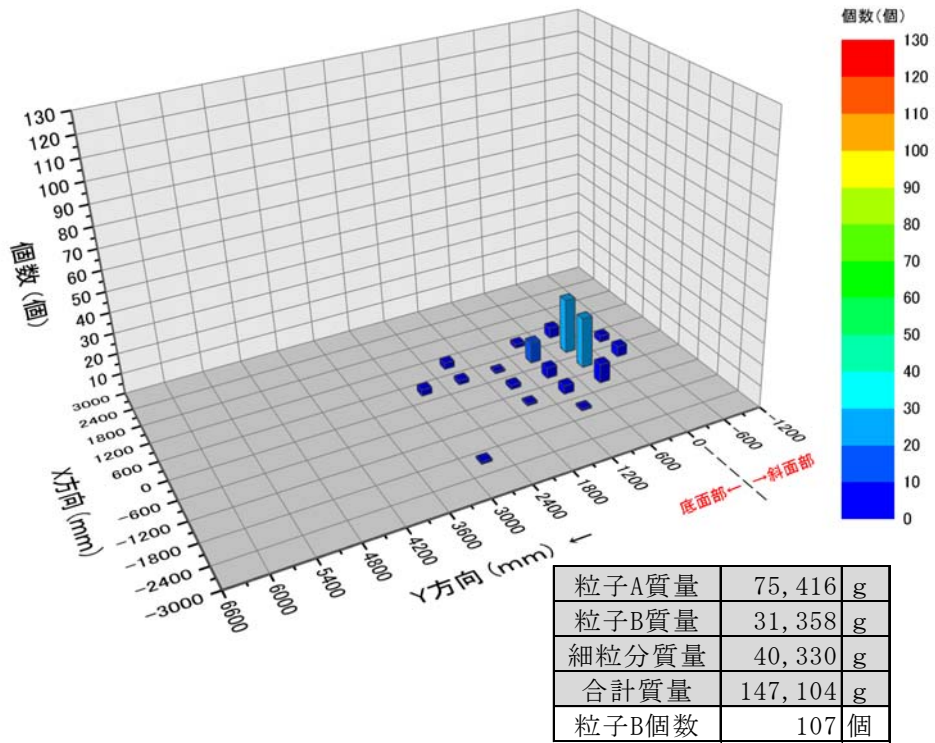
試番8  
 粒子:細粒分



崩落状況 [試番8]

図3.2.84(ac) 崩落した碎石の質量分布 [試番8\_粒子:細粒分]

試番8  
粒子:B



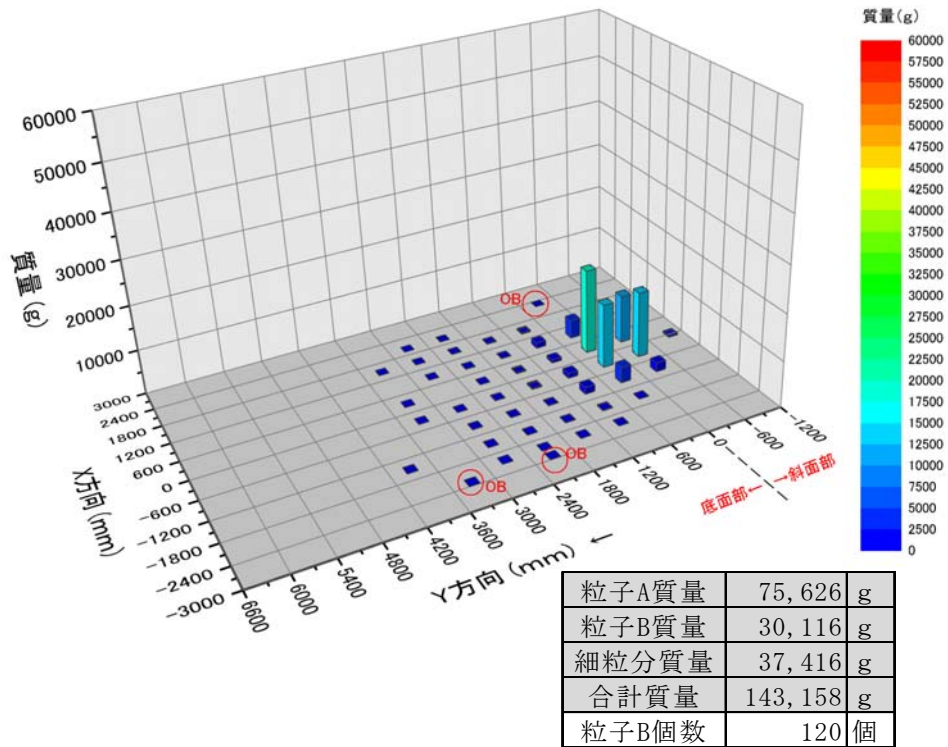
崩落状況 [試番8]

図3.2.84(ad) 崩落した碎石の個数分布 [試番8\_粒子:B]



試番9

粒子:A

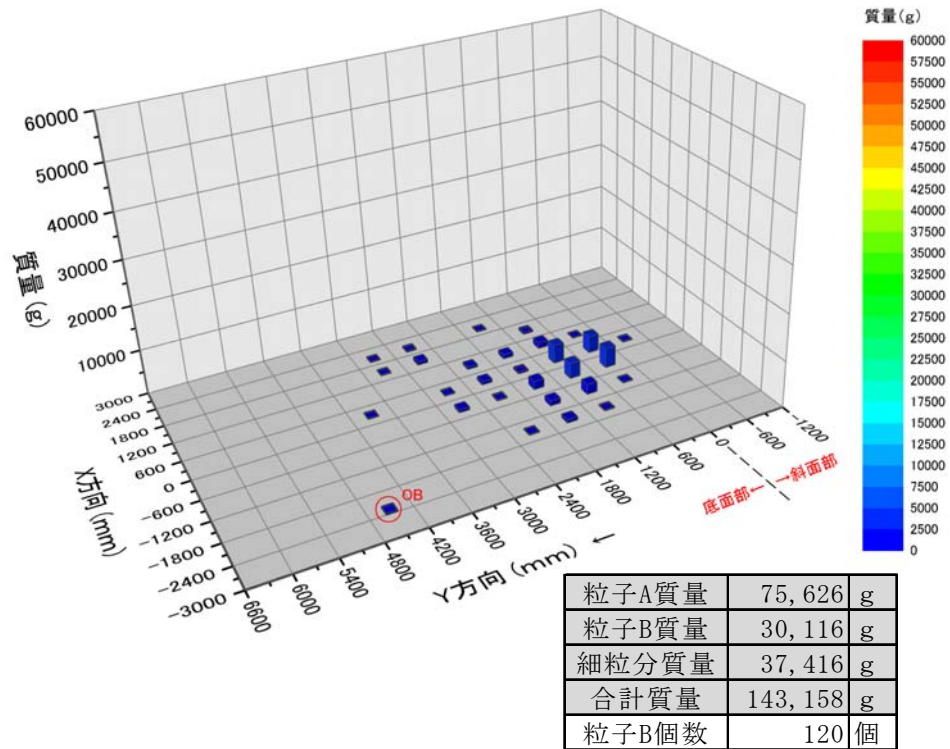


崩落状況 [試番9]

図3.2.84(ae) 崩落した碎石の質量分布 [試番9\_粒子:A]

試番9

粒子:B

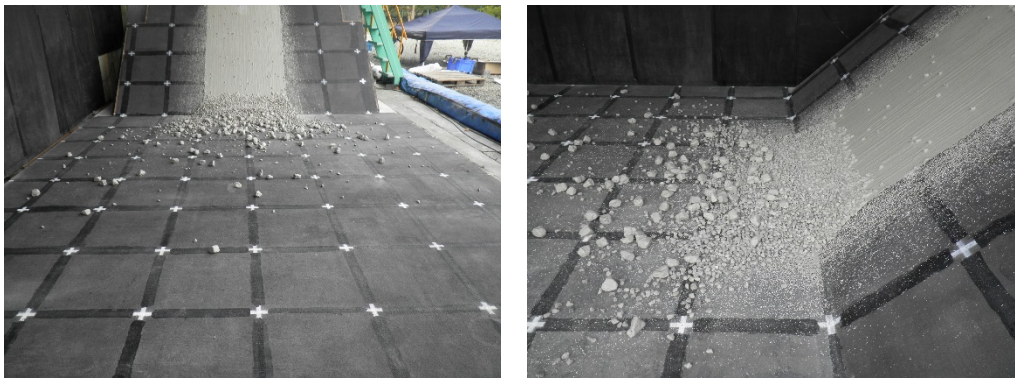
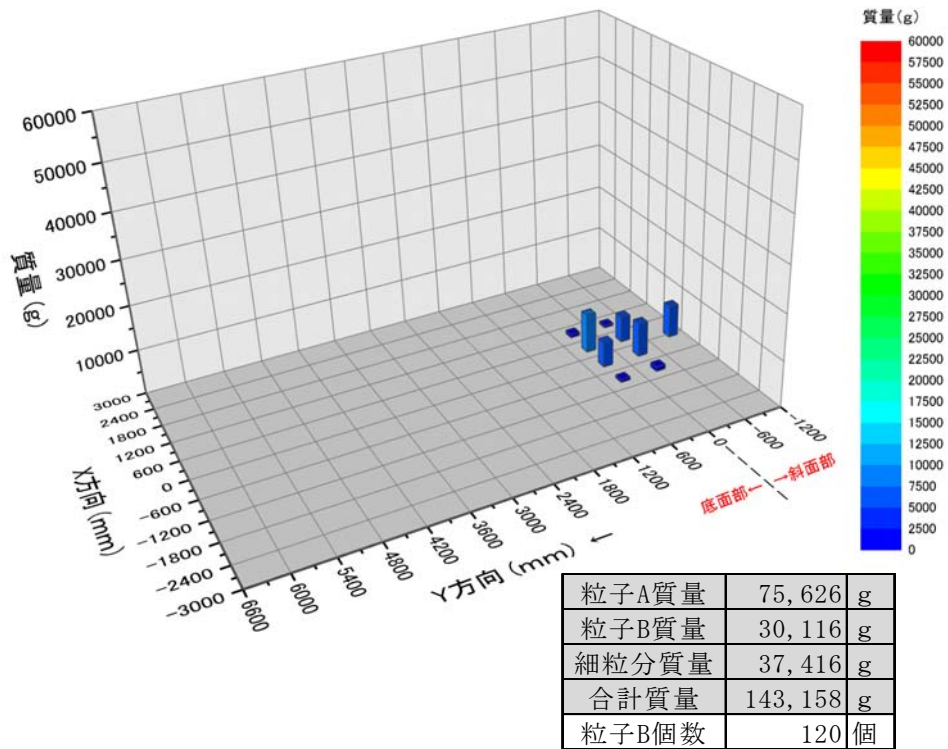


崩落状況 [試番9]

図3.2.84 (af) 崩落した碎石の質量分布 [試番9\_粒子:B]



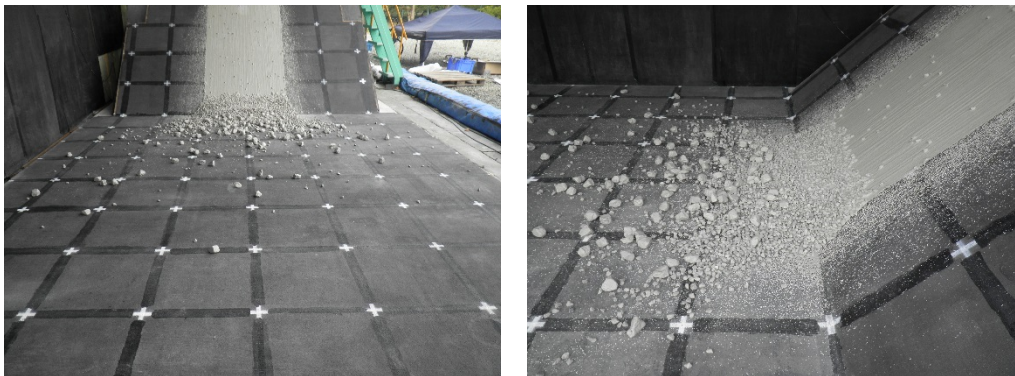
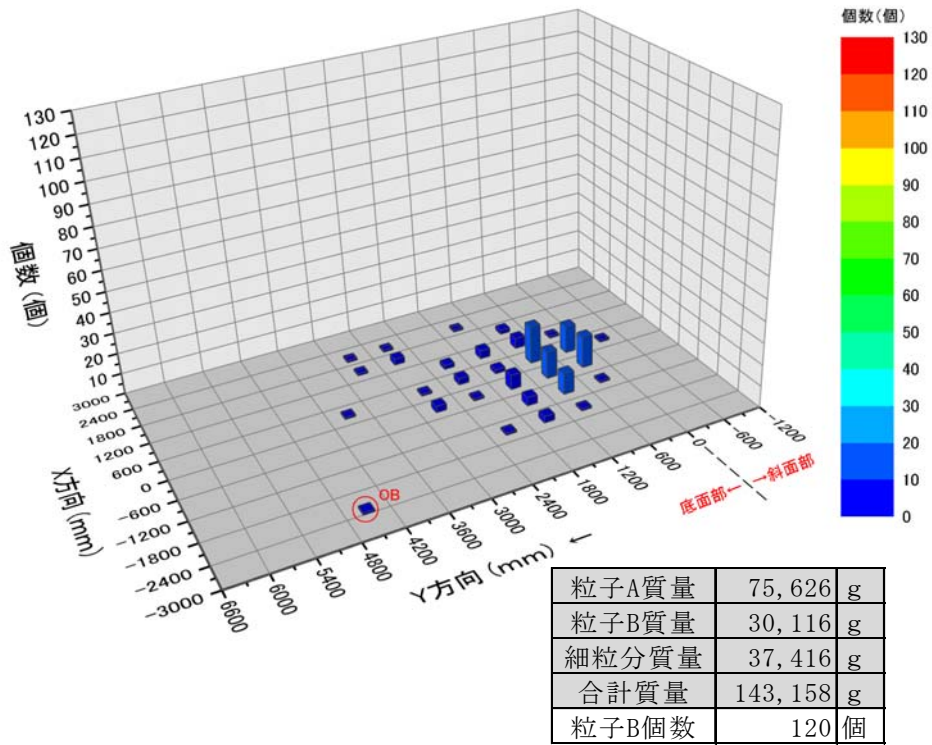
試番9  
 粒子:細粒分



崩落状況 [試番9]

図3.2.84 (ag) 崩落した碎石の質量分布 [試番9\_粒子:細粒分]

試番9  
 粒子:B

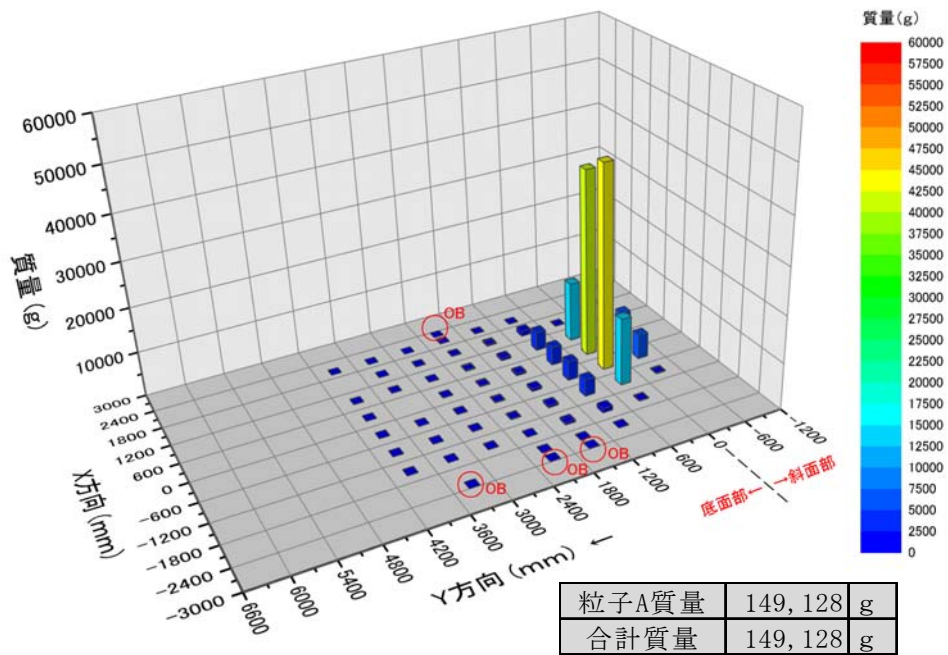


崩落状況 [試番9]

図3.2.84 (ah) 崩落した碎石の個数分布 [試番9\_粒子:B]

試番10

粒子:A



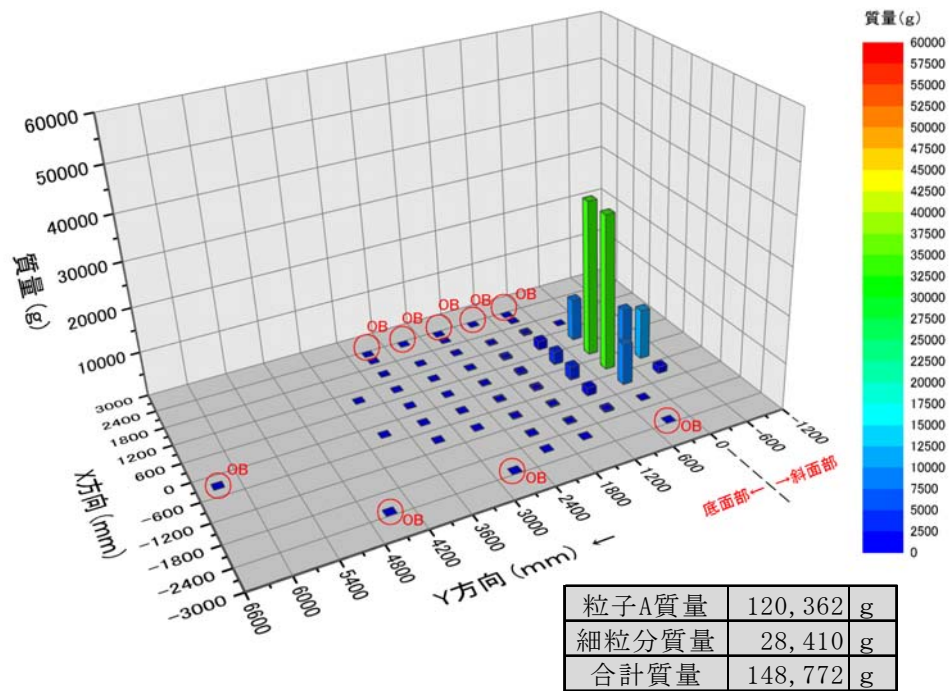
崩落状況 [試番10]

図3.2.84(ai) 崩落した碎石の質量分布 [試番10\_粒子:A]



試番11

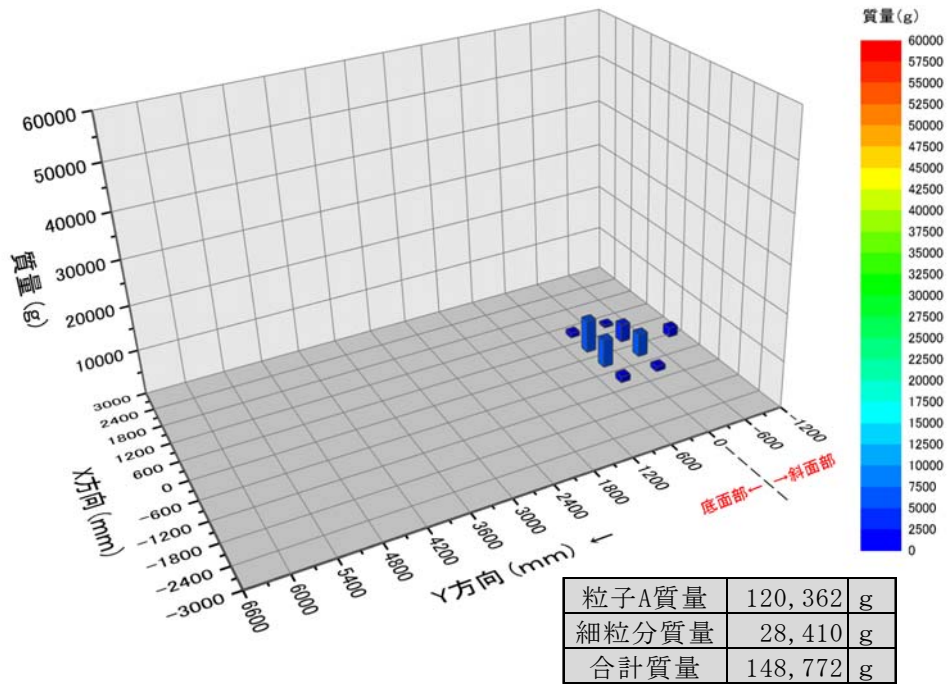
粒子:A



崩落状況 [試番 11]

図 3. 2. 8 4 (aj) 崩落した碎石の質量分布 [試番 11\_粒子 : A]

試番11  
 粒子:細粒分

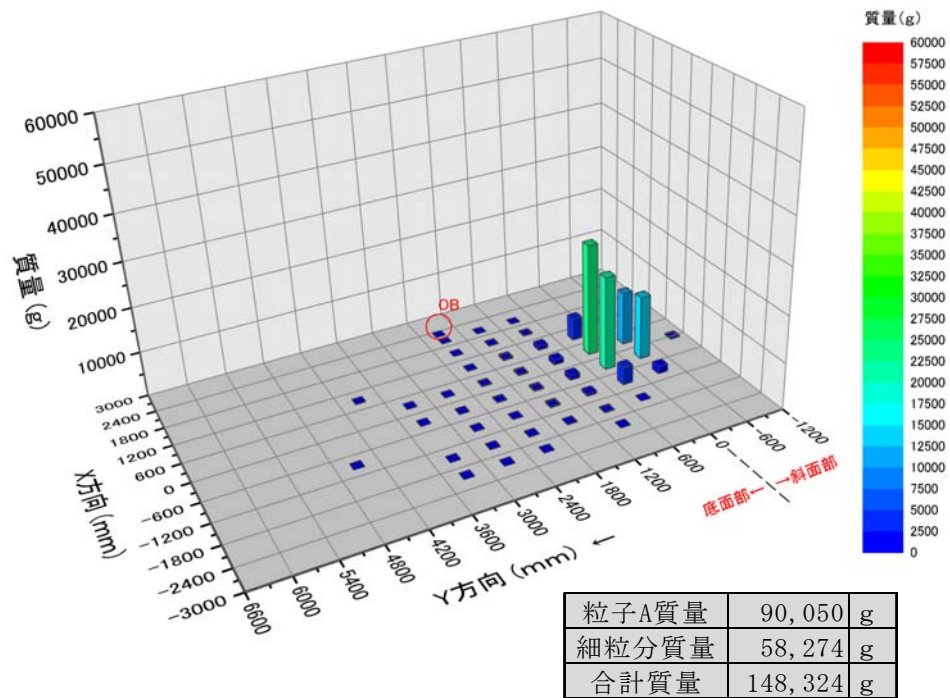


崩落状況 [試番 11]

図 3. 2. 8 4 (ak) 崩落した碎石の質量分布 [試番 11\_粒子 : 細粒分]

試番12

粒子:A

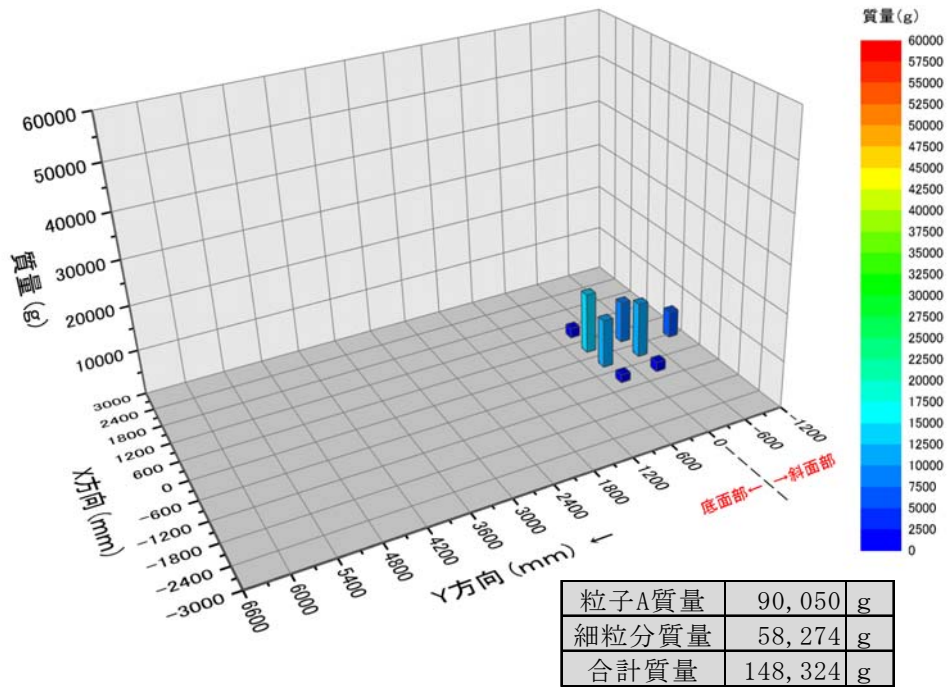


崩落状況 [試番 12]

図 3. 2. 8 4 (a1) 崩落した碎石の質量分布 [試番 12\_粒子 : A]



試番12  
 粒子:細粒分



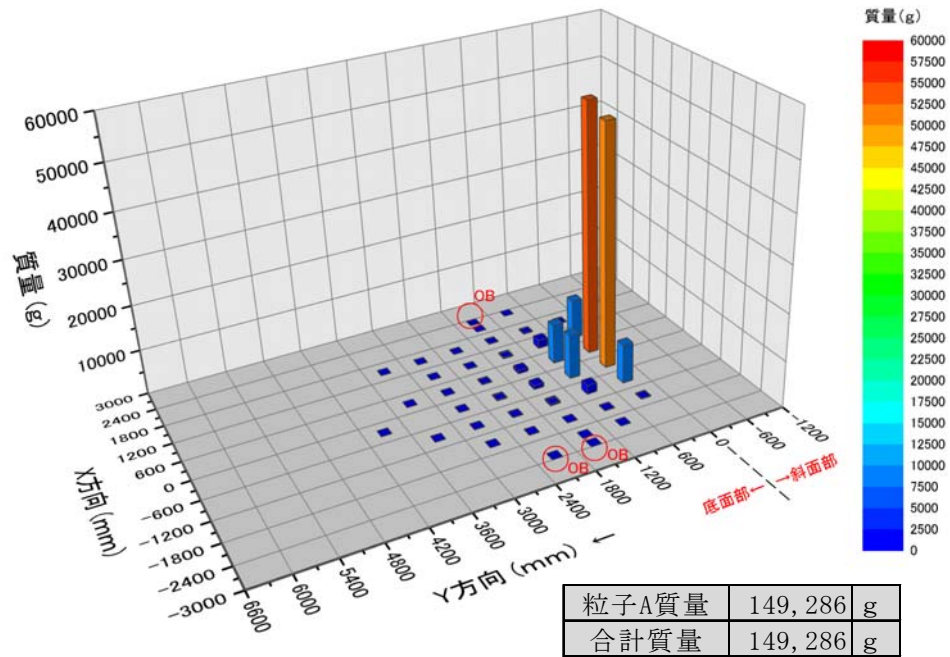
崩落状況 [試番 12]

図 3. 2. 8 4 (am) 崩落した碎石の質量分布 [試番 12\_粒子:細粒分]



試番13

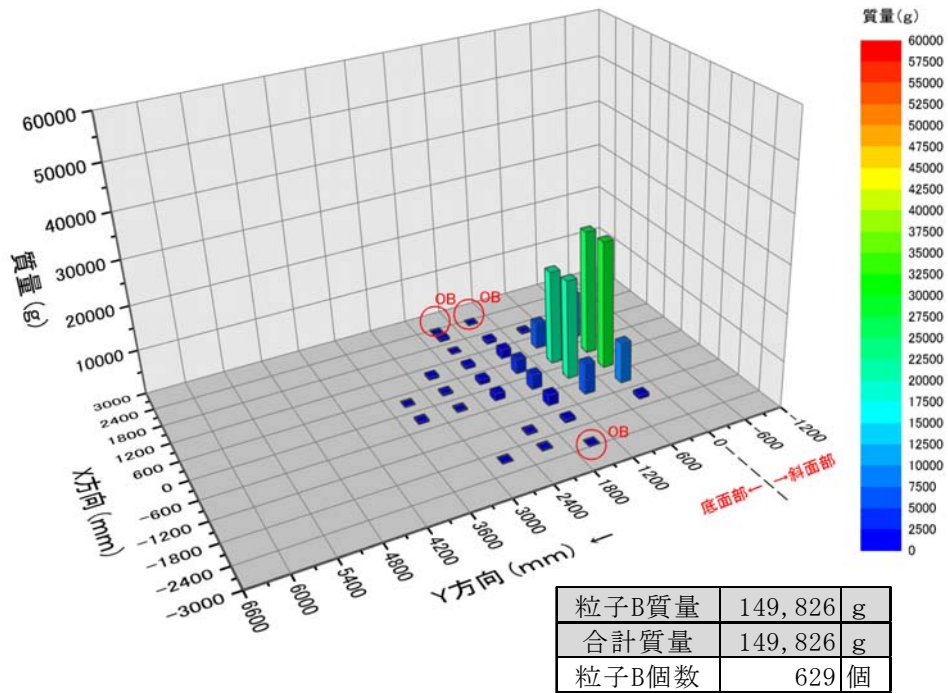
粒子:A



崩落状況 [試番 13]

図 3. 2. 8 4 (an) 崩落した碎石の質量分布 [試番 13\_粒子 : A]

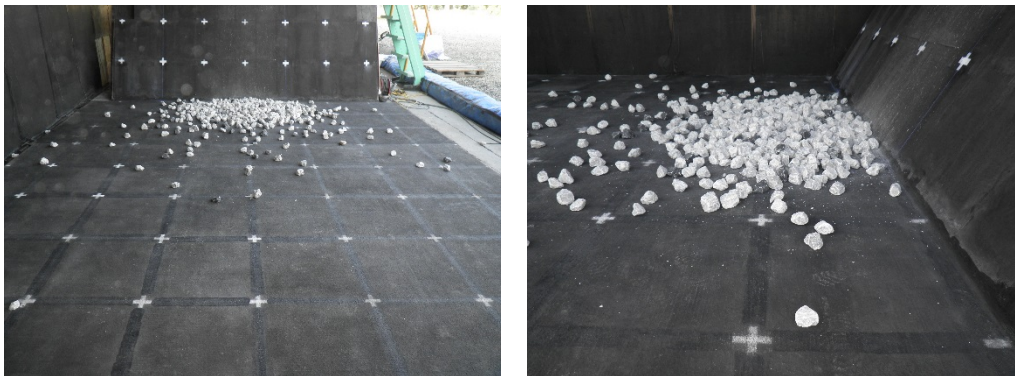
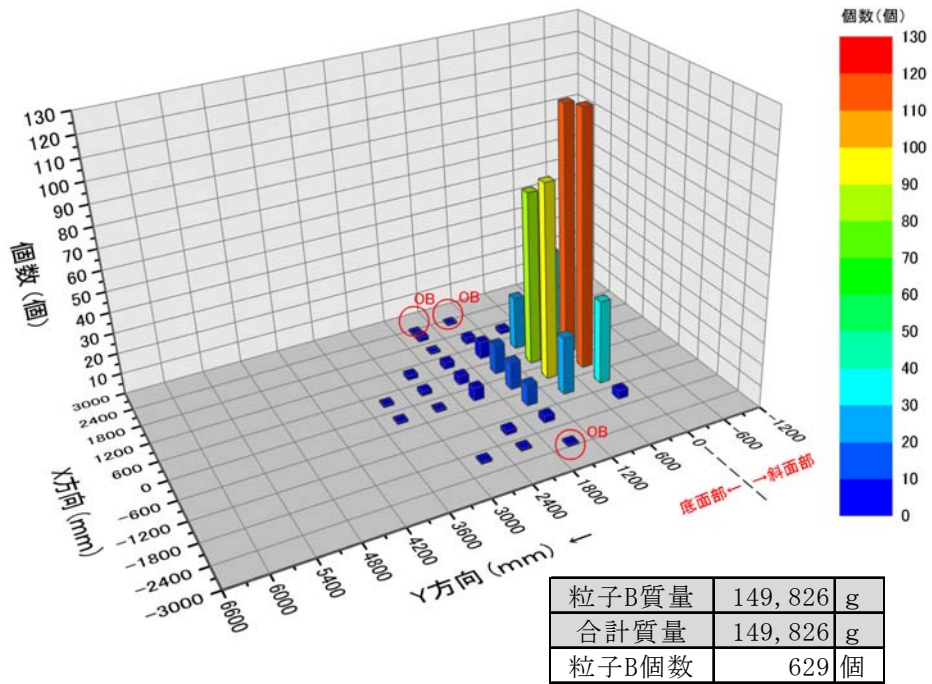
試番14  
粒子:B



崩落状況 [試番 14]

図 3. 2. 8 4 (ao) 崩落した碎石の質量分布 [試番 14\_粒子 : B]

試番14  
粒子:B

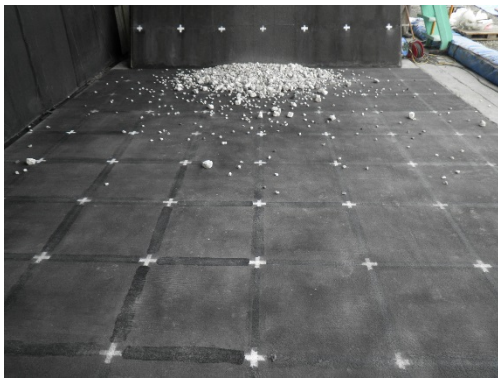
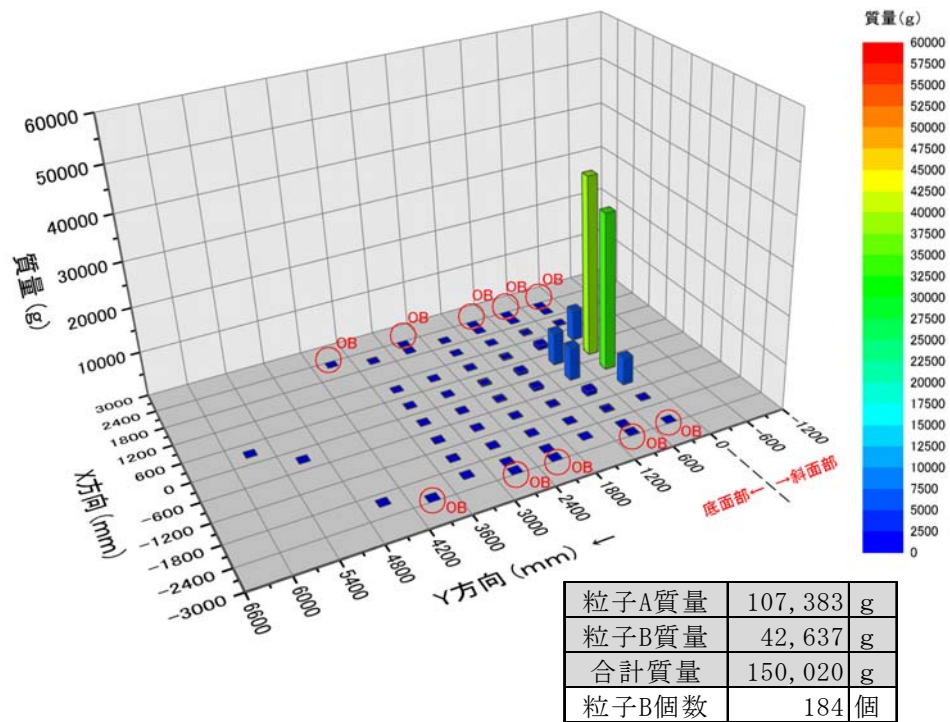


崩落状況 [試番 14]

図 3. 2. 8 4 (ap) 崩落した碎石の個数分布 [試番 14\_粒子 : B]

試番15

粒子:A



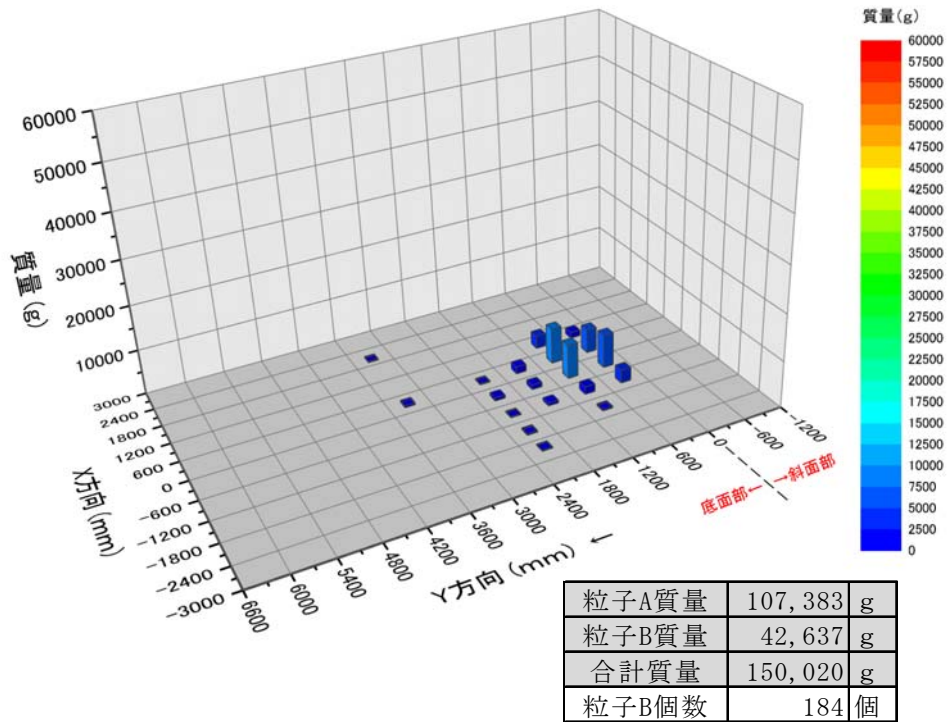
崩落状況 [試番 15]

図 3. 2. 8 4 (aq) 崩落した碎石の質量分布 [試番 15\_粒子 : A]



試番15

粒子:B

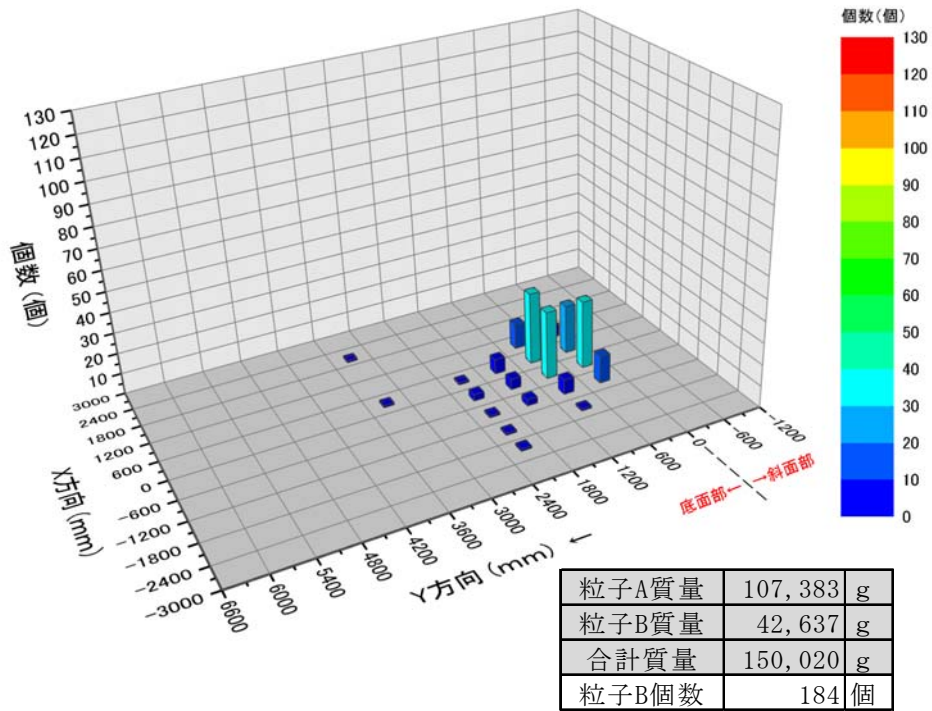


崩落状況 [試番 15]

図 3. 2. 8 4 (ar) 崩落した碎石の質量分布 [試番 15\_粒子 : B]

試番15

粒子:B

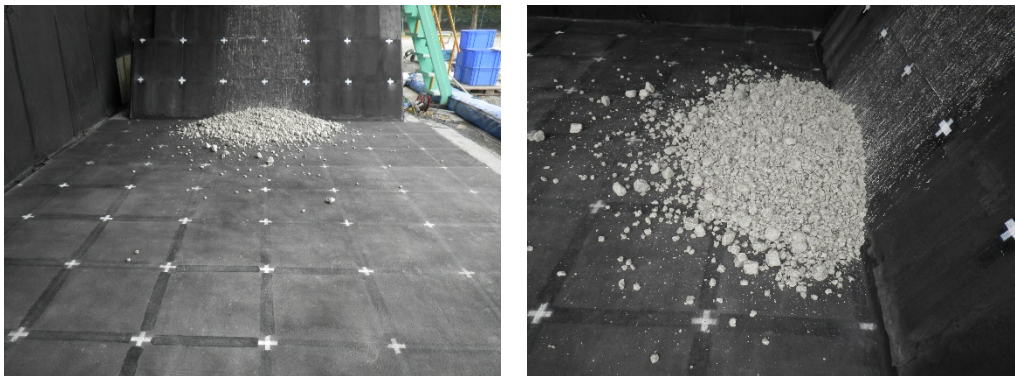
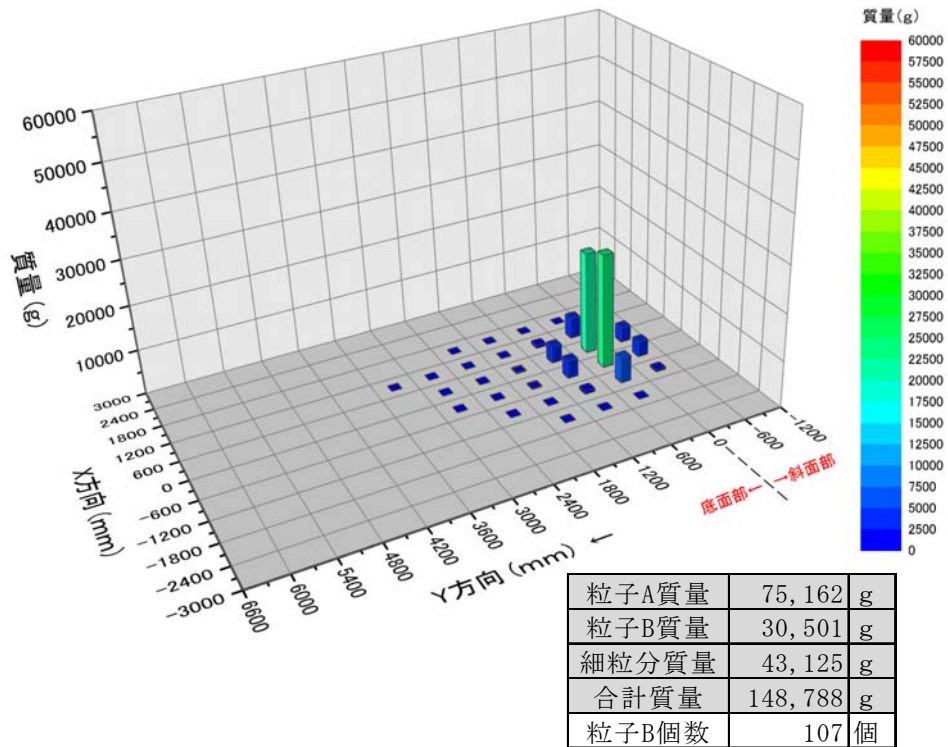


崩落状況 [試番15]

図3.2.84 (as) 崩落した碎石の個数分布 [試番15\_粒子:B]

試番16

粒子:A



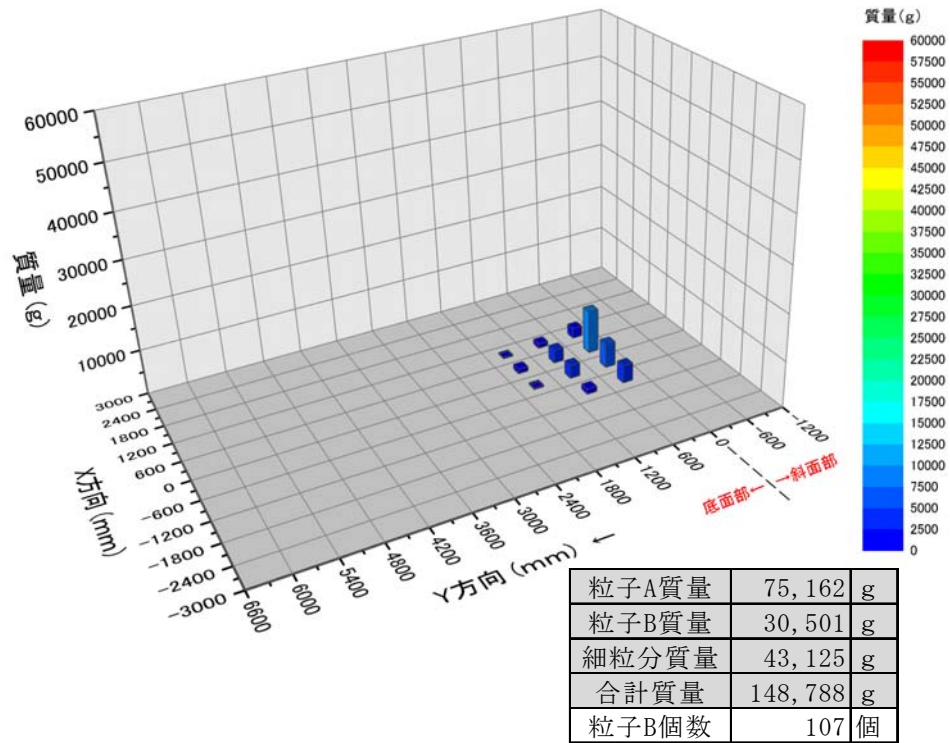
崩落状況 [試番16]

図3.2.84(at) 崩落した碎石の質量分布 [試番16\_粒子:A]



試番16

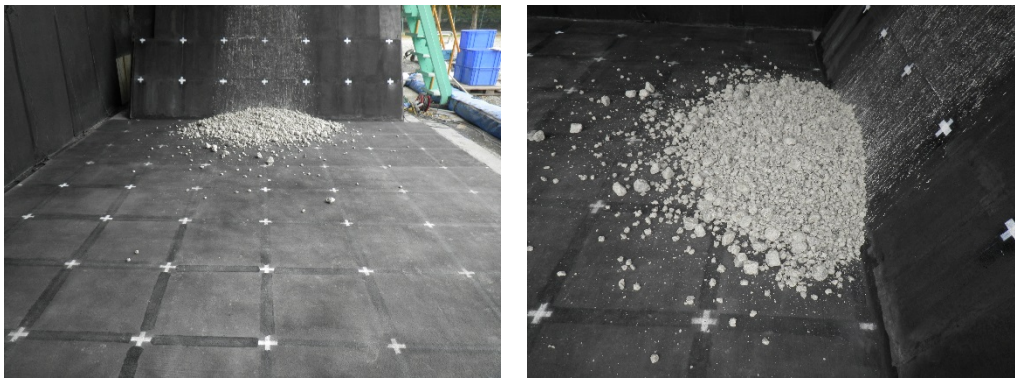
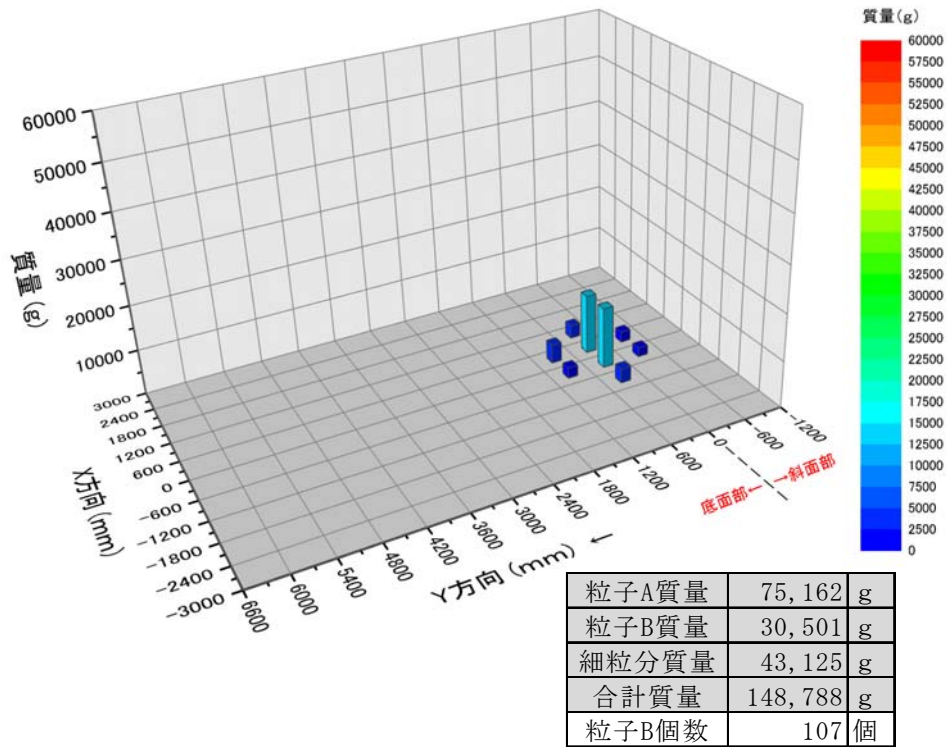
粒子:B



崩落状況 [試番 16]

図 3. 2. 8 4 (au) 崩落した碎石の質量分布 [試番 16\_粒子 : B]

試番16  
 粒子:細粒分

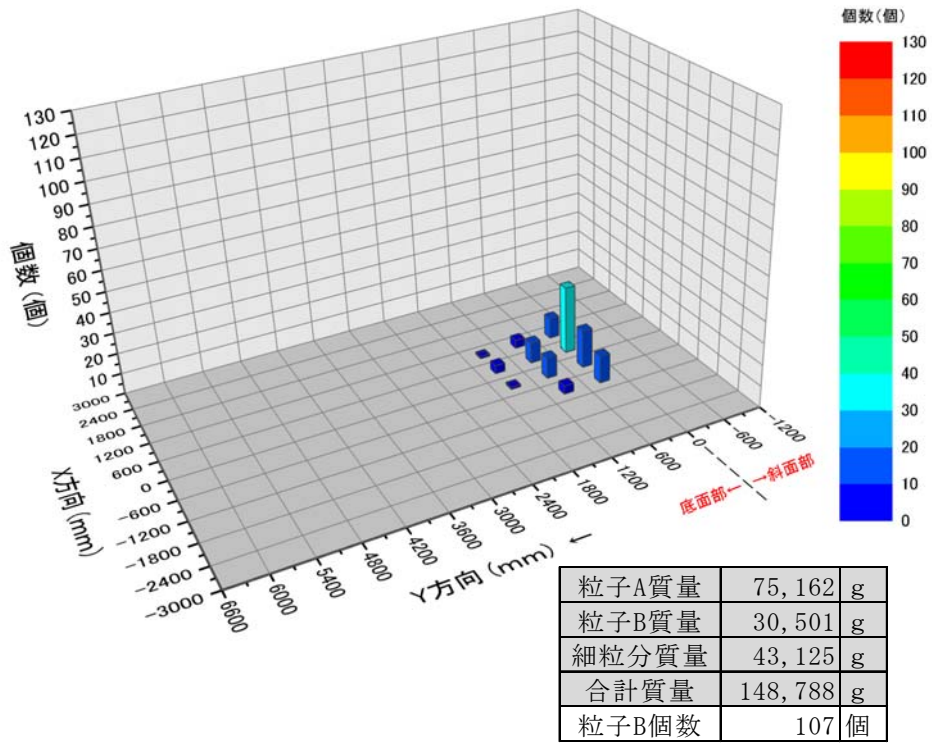


崩落状況 [試番16]

図3.2.84(av) 崩落した碎石の質量分布 [試番16\_粒子:細粒分]

試番16

粒子:B



崩落状況 [試番16]

図3.2.84 (aw) 崩落した碎石の個数分布 [試番16\_粒子:B]

## ②画像解析結果

図 3.2.85～図 3.2.88 にそれぞれの「試番 ケース」に対する流路正面写真、流路正面 三次元メッシュ図、二次元変位・速度軌跡を示す。また、図 3.2.89～図 3.2.100 についてはそれぞれの「試番 ケース」に対する流路正面写真、流路正面から見た土砂の二次元変位履歴図、同速度履歴図、流路側面写真、流路側面から見た土砂の二次元変位履歴図、同速度履歴図を示す。



図 3.2.85 試番 1 における流路正面

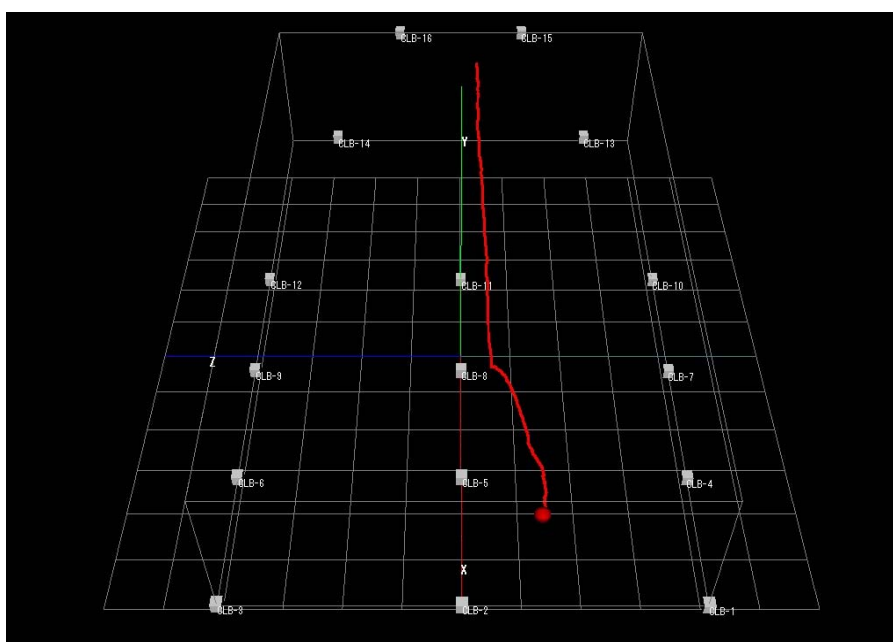


図 3.2.86 試番 1 における流路正面 三次元メッシュ図



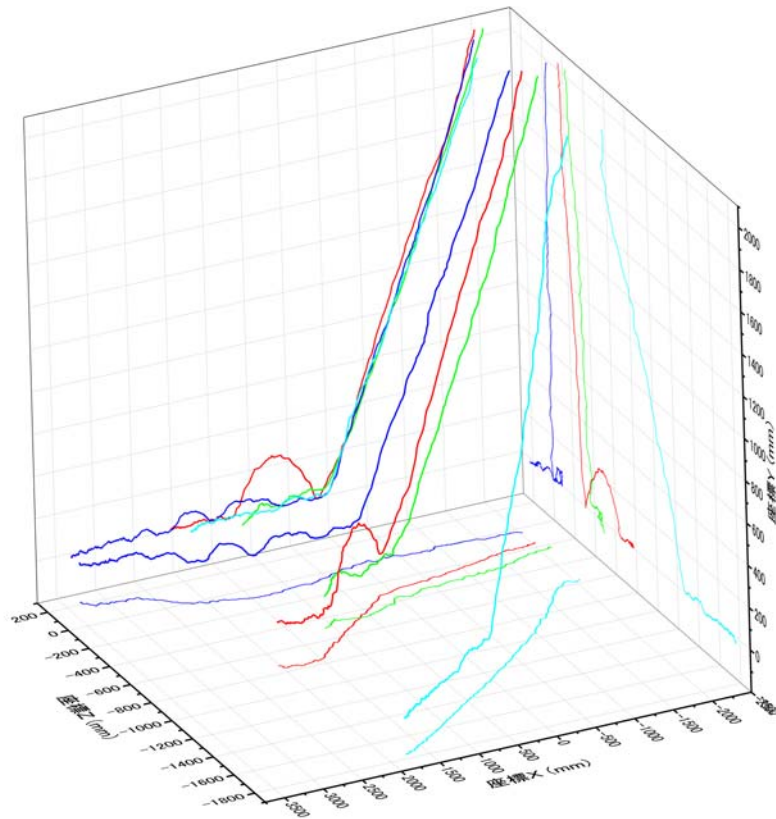


図 3.2.87 試番 1 における碎石の軌跡履歴

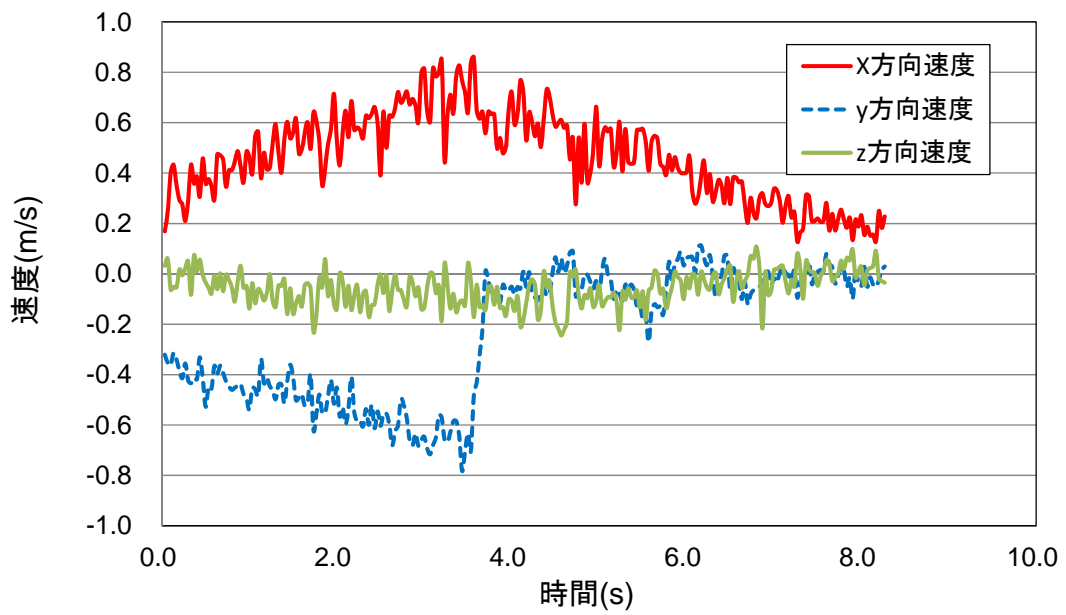


図 3.2.88 試番 1 における碎石の速度履歴 (平均)

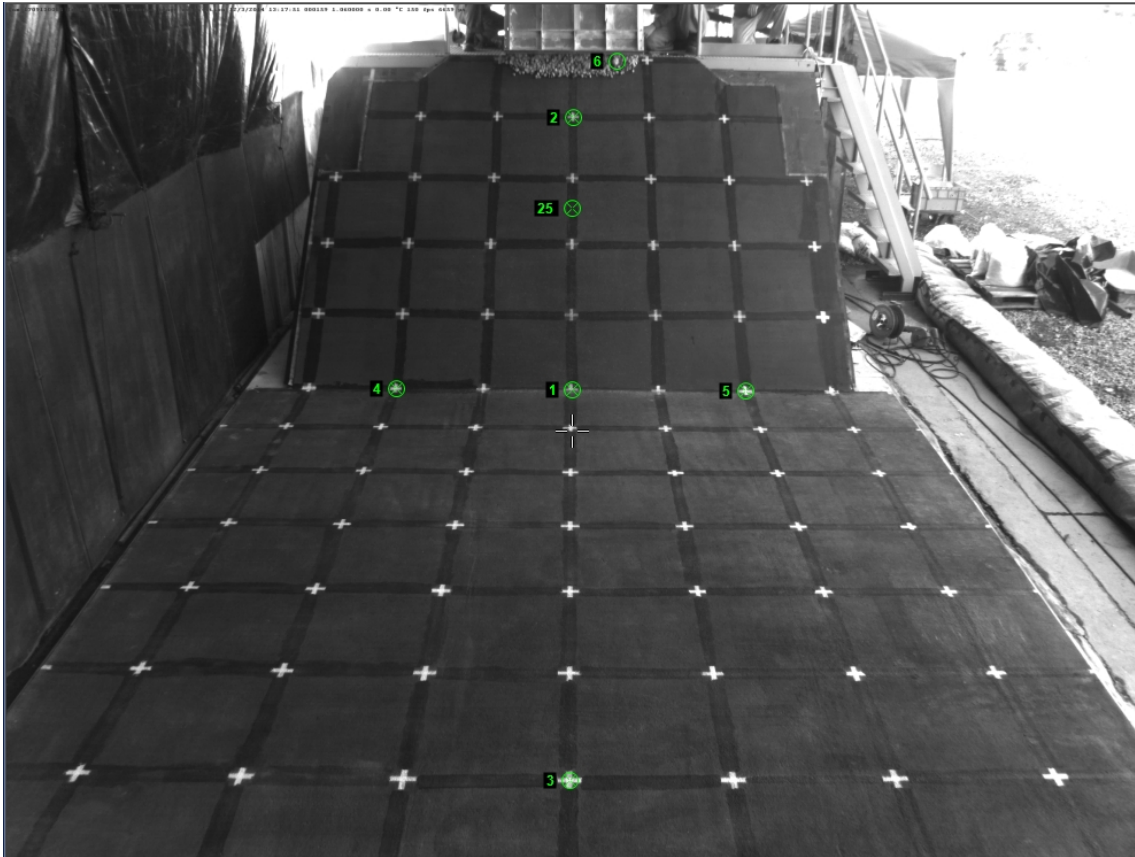


図 3.2.89 試番 6-1 流路正面

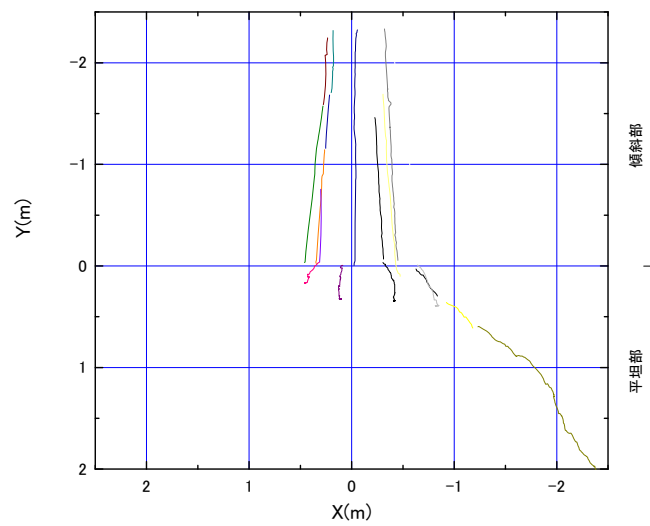


図 3.2.90 試番 6-1 土砂の変位履歴 (正面)

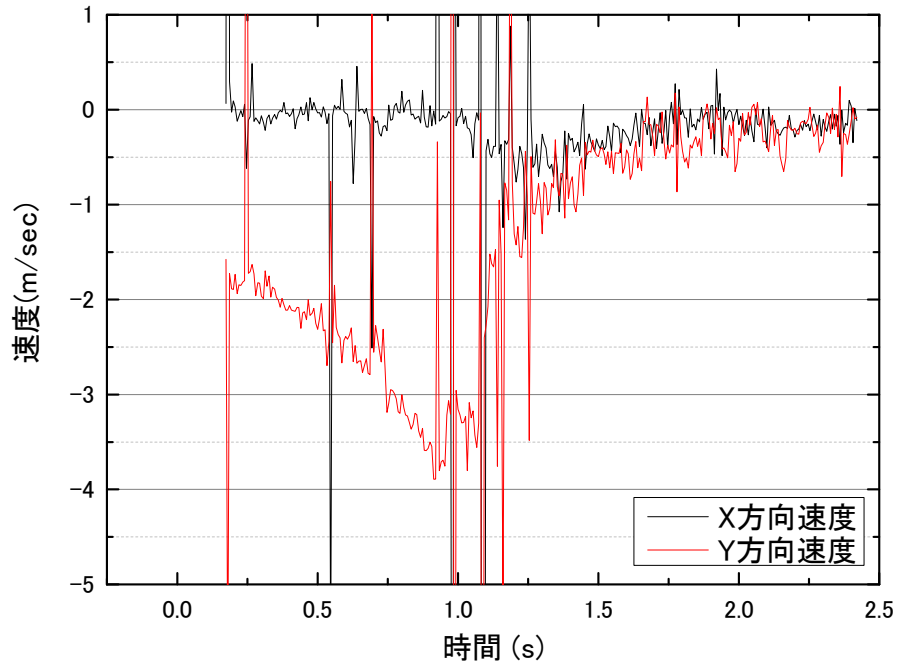


図 3.2.91 試番 6-1 碎石の速度履歴 (正面)



図 3.2.92 試番 6-1 流路側面



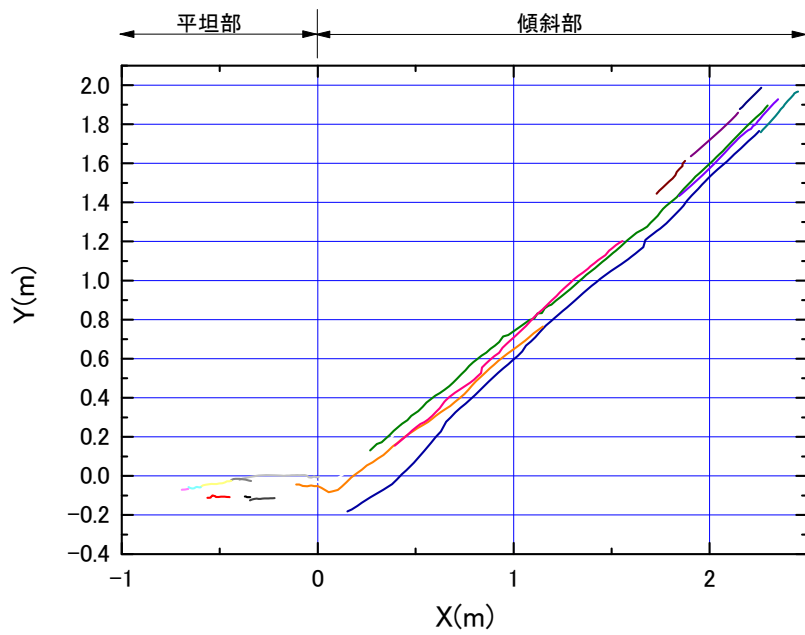


図 3.2.93 試番 6-1 土砂の変位履歴 (側面)

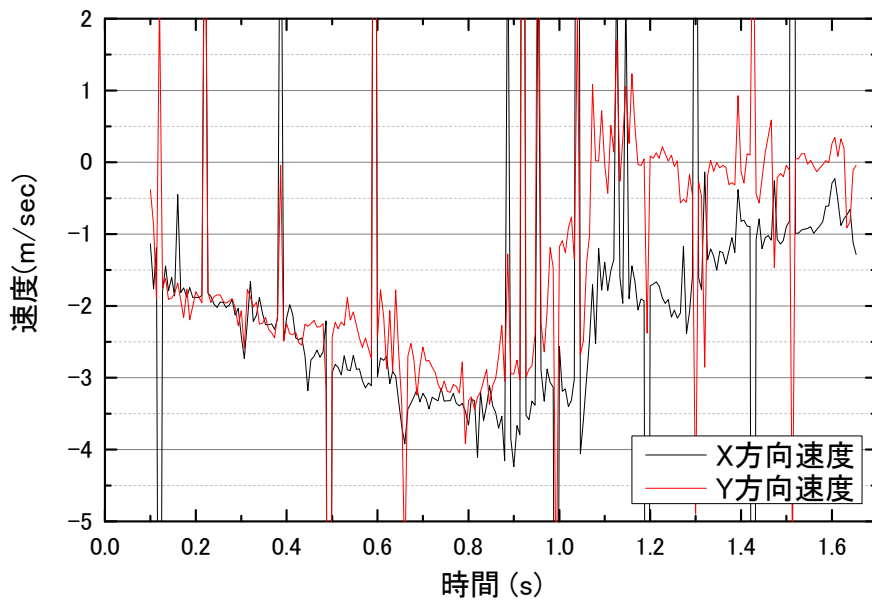


図 3.2.94 試番 6-1 碎石の速度履歴 (側面)

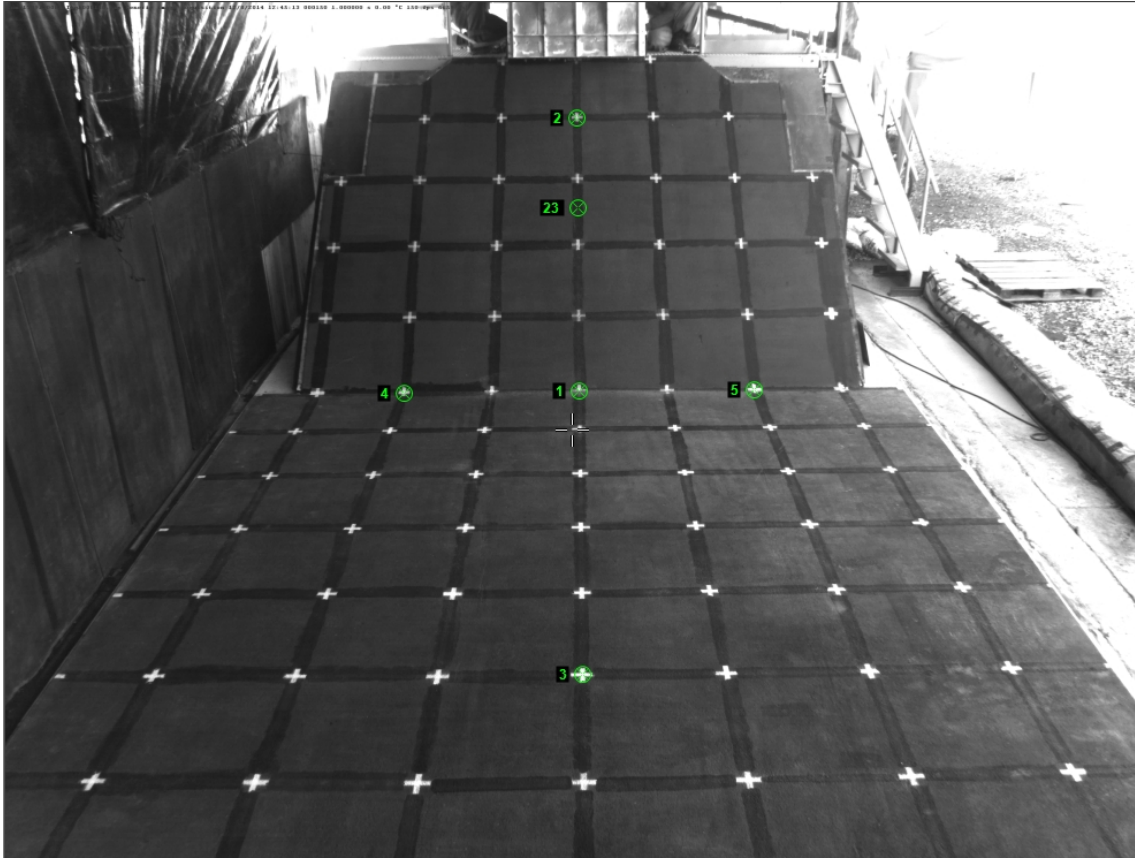


図 3.2.95 試番 8 流路正面

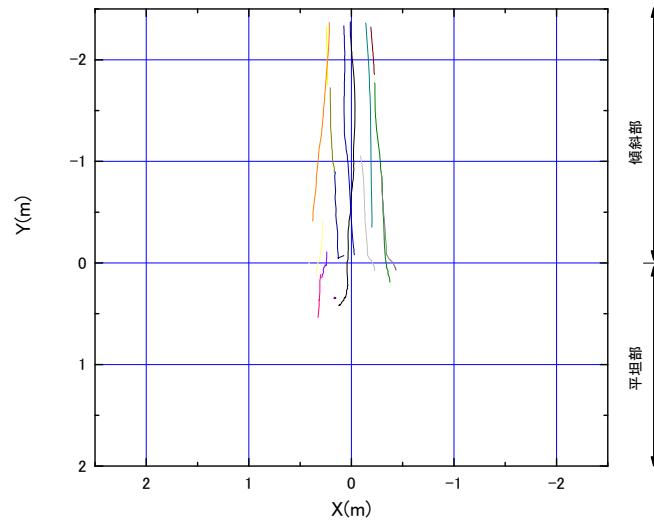


図 3.2.96 試番 8 土砂の変位履歴 (正面)

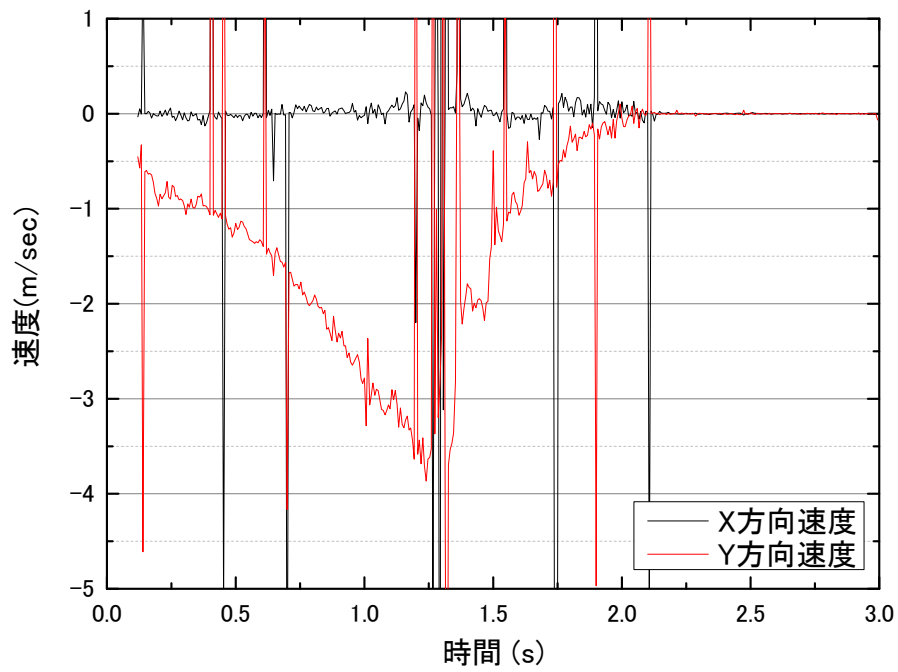


図 3.2.97 試番8 碎石の速度履歴 (正面)

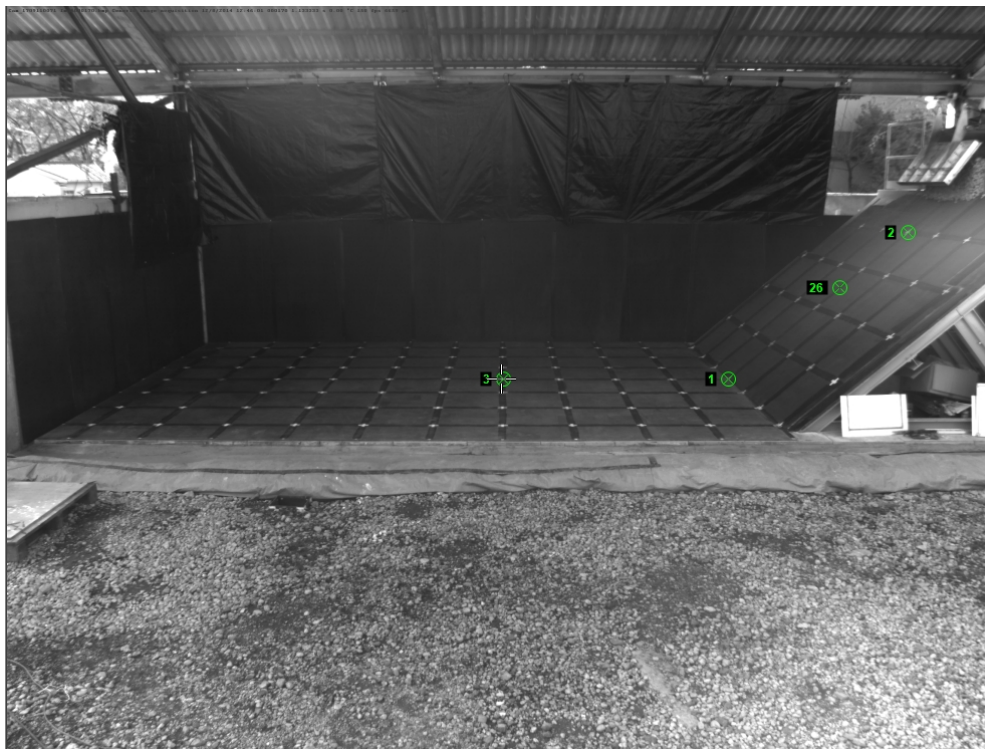


図 3.2.98 試番8 流路側面

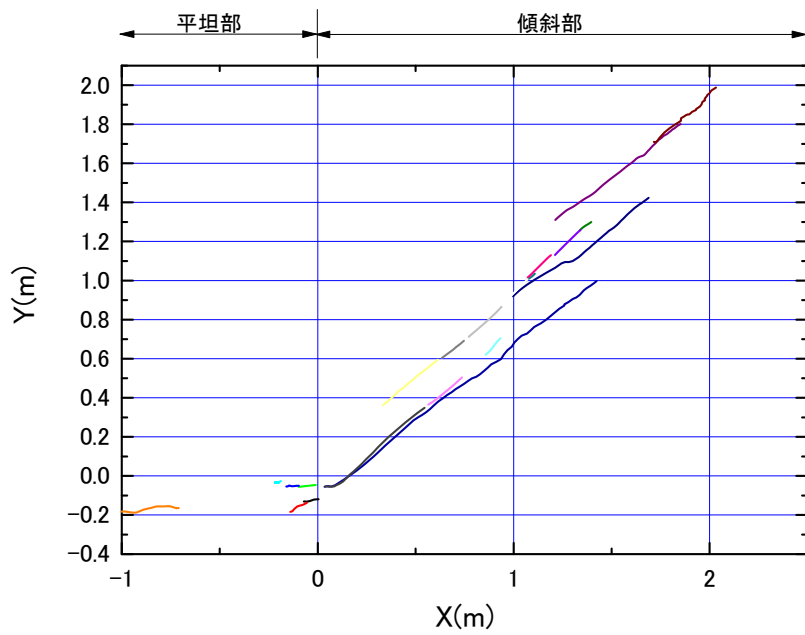


図 3.2.99 試番8 土砂の変位履歴 (側面)

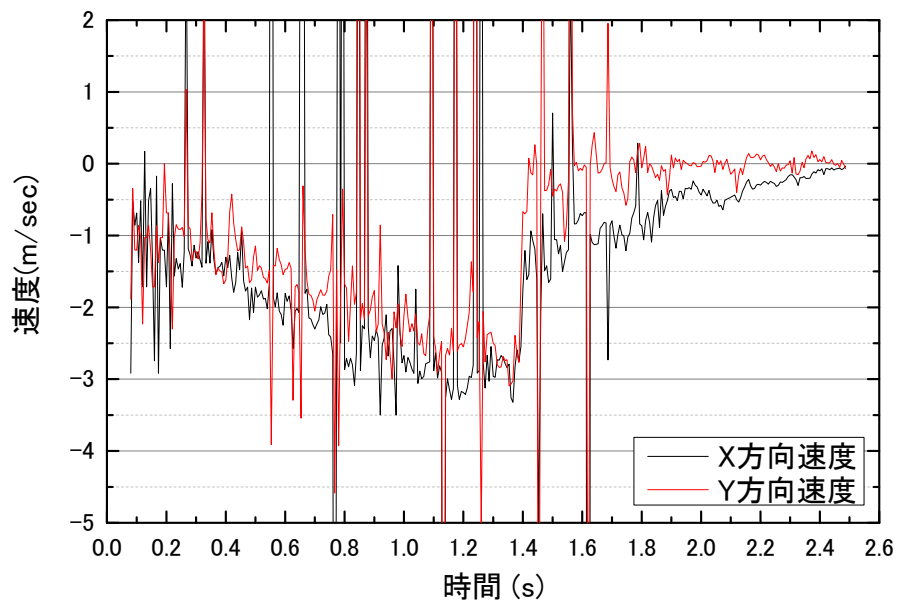


図 3.2.100 試番8 碎石の速度履歴 (側面)

表 3.2.13、表 3.2.14 に碎石粒子群の速度一覧を示す。

表 3.2.13 碎石粒子群の速度一覧（その1）

試番	ケース	崩落量	碎石の種類	細粒分含有率 (%)	含水比 (%)	試験日	撮影データの有無			保存フォルダ番号	解析の有無	解析方法	速度 (m/s)									備考
							撮影位置						傾斜部中間点			傾斜部と平坦部境界点			傾斜部と平坦部境界点から2m			
							正面	斜め	側面				X方向 (直線長平方向)	Z方向 (直線発行方向)	Y方向 (高さ)	X方向 (直線長平方向)	Z方向 (直線発行方向)	Y方向 (高さ)	X方向 (直線長平方向)	Z方向 (直線発行方向)	Y方向 (高さ)	
1	1	崩落量B	粒子B	0	0	2014/11/20	○	○	○	011	○	三次元解析 (Move-Tr/3D)	0.647	-0.597	-0.131	0.634	-0.107	-0.122	0.442	-0.065	-0.093	傾斜部と平坦部境界点から2mまで回転していないため、最大到達点1.76mに対して半分の位置0.88mでの速度とした。

表 3.2.14 碎石粒子群の速度一覧（その2）

試番	ケース	崩落量	碎石の種類	細粒分含有率 (%)	含水比 (%)	試験日	撮影データの有無			保存フォルダ番号	解析の有無	解析方法	速度 (m/s)												備考
							撮影位置						傾斜部中間点				傾斜部と平坦部境界点				傾斜部と平坦部境界点から2m				
							正面	斜め	側面				正面		側面		正面		側面		正面		側面		
							X方向	Y方向					X方向	Y方向	X方向	Y方向	X方向	Y方向	X方向	Y方向	X方向	Y方向			
6-1	1		粒子A+B (重量比2.5:1.0)	0	0	2014/12/3	○	○	○	012	○	二次元解析 (ViewPoint)	-0.074353	-2.553592	-3.920495	-5.760017	-0.466774	-1.520485	-3.243651	-0.379165	-0.249589	-0.937363	-1.964541	0.1213673	境界点から2mまで達していないため、正面については境界点から0.322mの地点速度、側面については同じく0.287mの地点速度を用いた。
8	1		粒子A+B (粒子A 重量比 50%) (粒子B 重量比 20%)	30	20%	2014/12/8	○	○	○	011	○	二次元解析 (ViewPoint)	-0.067798	-2.536115	-2.298797	-2.162189	0.0367605	-1.406624	-2.068435	-0.110845	-0.059646	-1.029093	-0.986407	-0.017547	境界点から2mまで達していないため、正面については境界点から0.101mの地点速度、側面については同じく0.422mの地点速度を用いた。

### 3. 2. 5 試験結果の分析

#### (1) 粒子単体による転動試験

##### ① 粒子サイズの影響

粒子サイズの影響を分析するため、試番1と試番4の結果の比較を行った。まず、それぞれの試番での落とし方の違いの影響を図3.2.101に示す。大きな落とし方の違いは見られなかった。

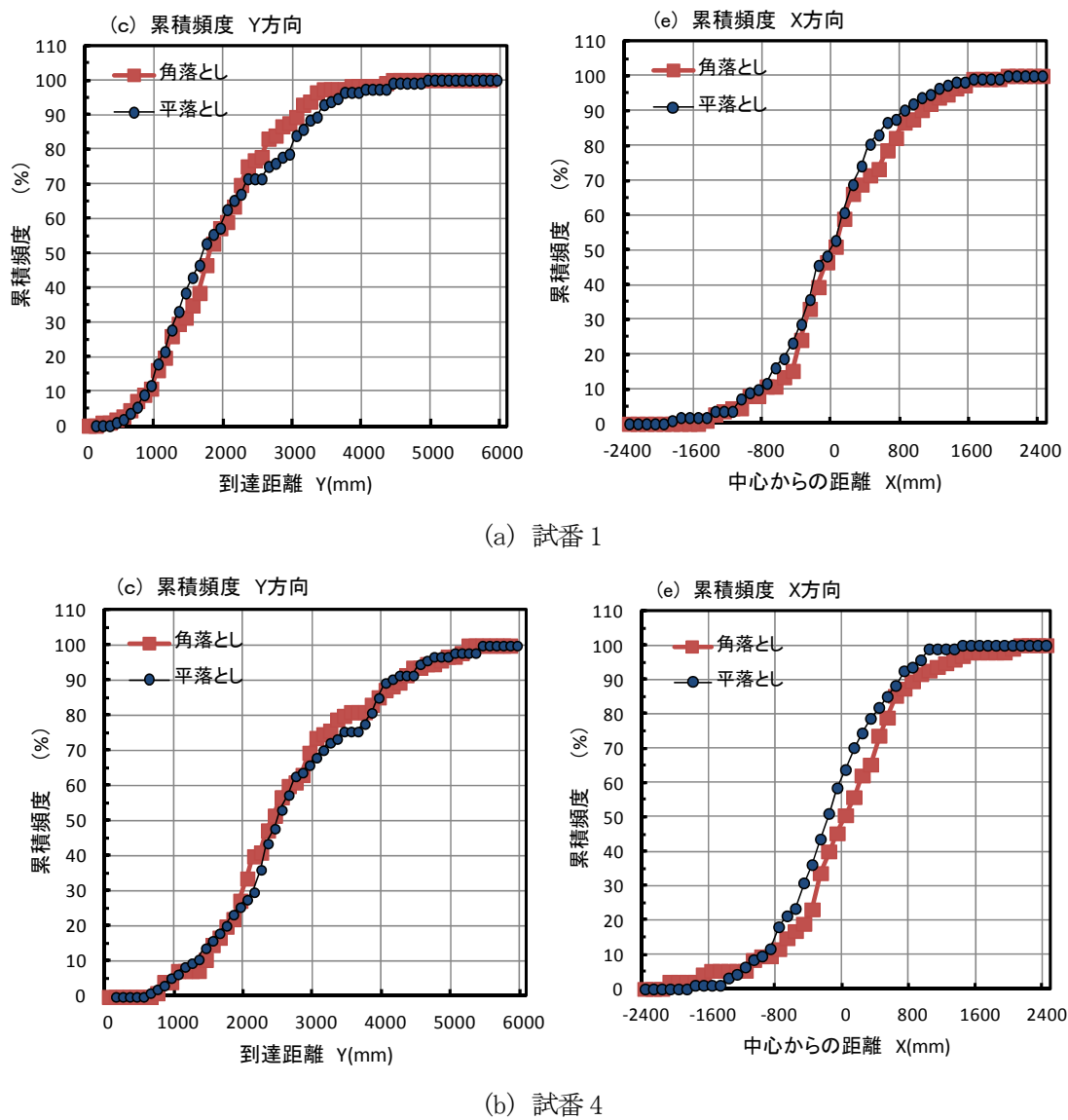


図3.2.101 落とし方の違いの影響 (試番1,4)

図 3. 2. 102 に試番 1, 4 の比較を示す。この違いは、落下高さ 2. 0m、勾配 41 度で、粒子サイズのみが異なるケースである。傾向として、粒子 A (試番 1) の方が到達距離は小さい。一方、横方向への到達距離については大きな差は見られなかった。

試番 1 の方が、到達距離が小さくなった理由を分析するために、画像解析より得られた速度履歴の比較を行った。図 3. 2. 103 に試番 1 と 4 の速度履歴を示す。全体的に斜面部での x 方向速度のみ試番 4 の方が大きい。軌跡を見ると、試番 4 の方が斜面で跳ね上がっており、その分底面からの摩擦抵抗を受けなくなったことが影響したものと考えられる。

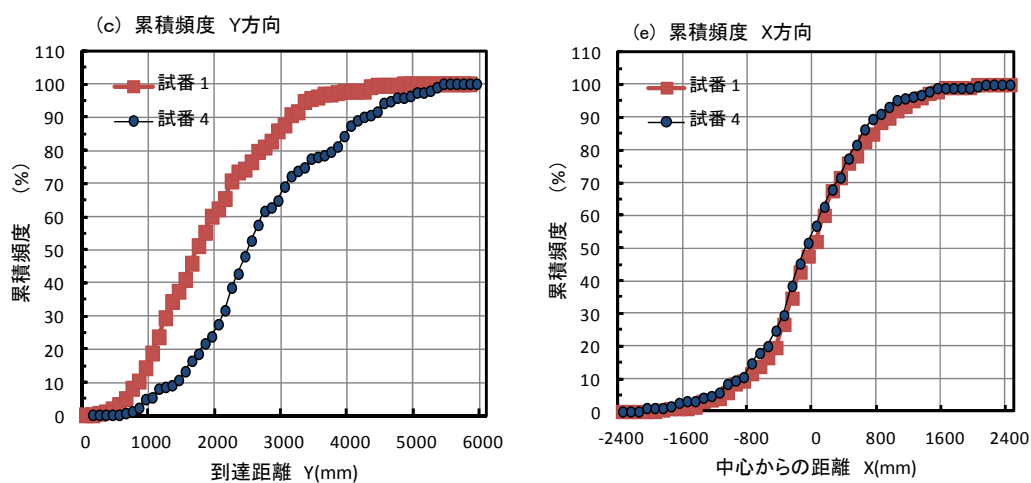


図 3. 2. 102 粒子サイズの違いの影響 (試番 1, 4)

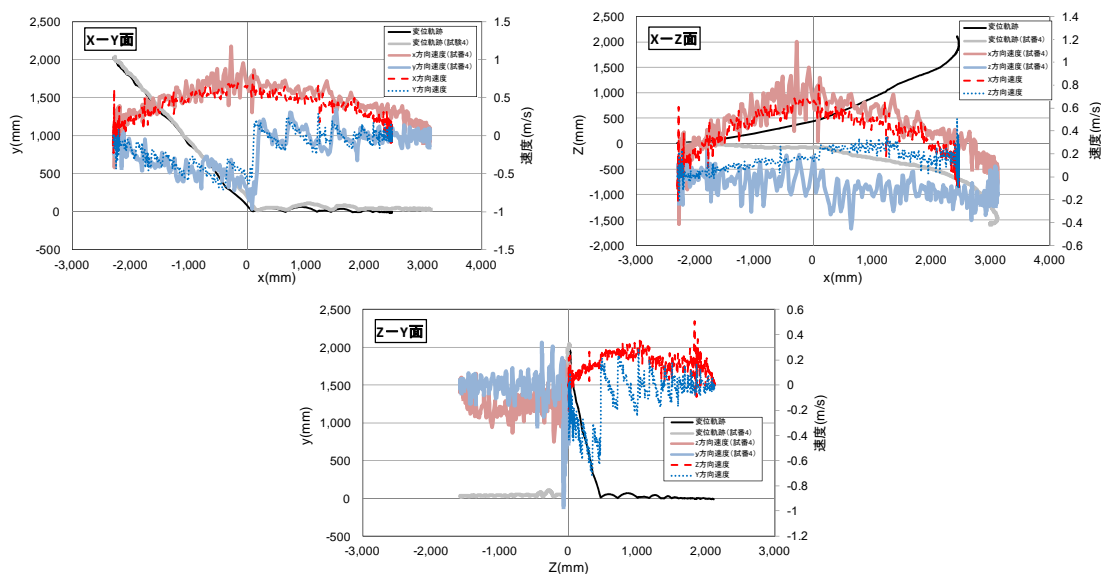


図 3. 2. 103 速度履歴 (試番 1, 4)



## ②高さの影響

高さの影響を分析するため、試番 2、試番 3 および試番 4 の結果の比較を行った。それぞれの試番での結果を図 3.2.104 に示す。落下高さが大きいほど到達距離が大きく、横方向への到達距離も大きくなった。図 3.2.105 に横軸を「到達距離／高さ」とした場合の結果を示す。累積頻度が試番に関わらず一致した。これは、到達距離は高さに比例関係にあることを示し、位置エネルギーが摩擦エネルギーに消費されたことを示している。

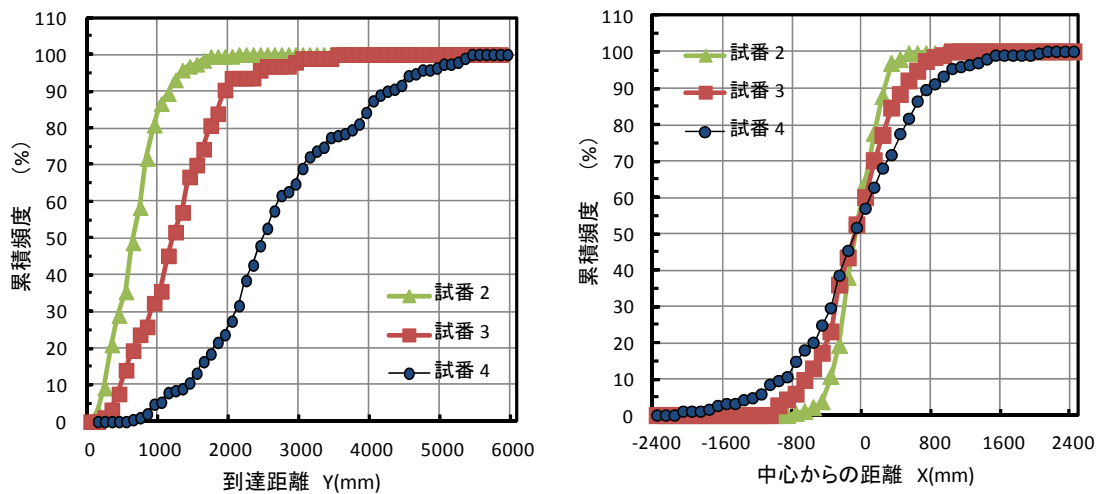


図 3.2.104 落下高さの影響 (試番 2, 3, 4)

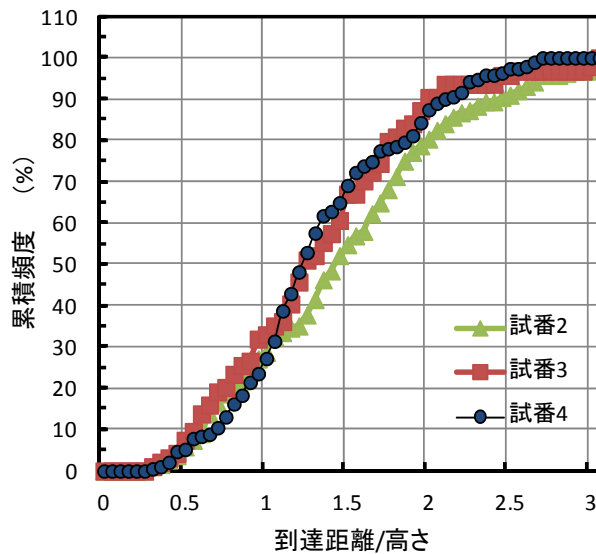


図 3.2.105 到達距離／高さの頻度分布

### ③勾配の影響

勾配の影響を分析するため、試番4（勾配41度）と試番5（勾配60度）の結果の比較を行った。それぞれの試番での結果を図3.2.106に示す。勾配が大きいほど到達距離が小さくなった。一方、横方向への到達距離については大きな差は見られなかった。

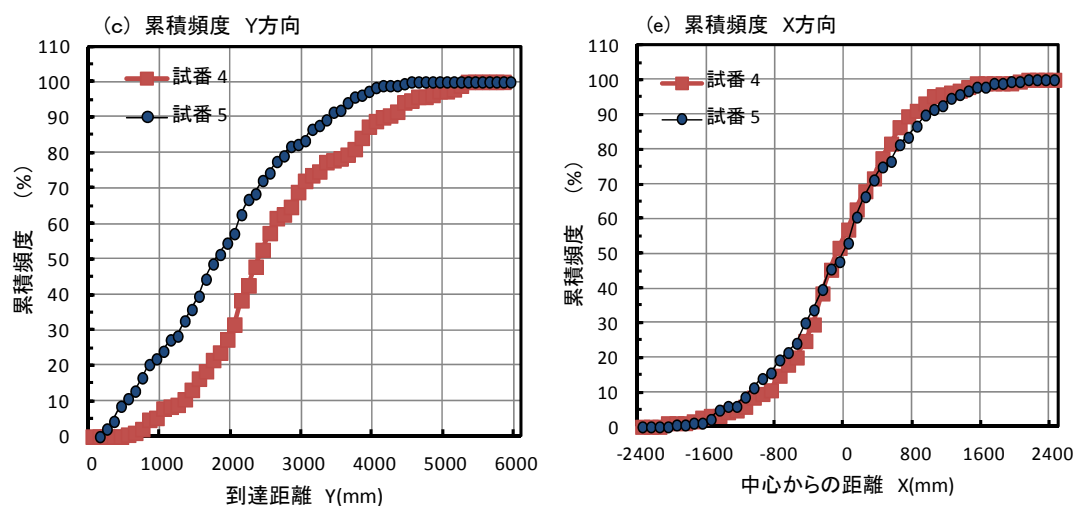


図 3.2.106 勾配の影響 (試番 4, 5)

(2) 粒子群の転動試験

粒子群の質量分布データを用いた試験後における粒子群の平面分布、頻度分布図および累積分布を示す。図 3.2.107～図 3.2.138 には各試番の分布図を、図 3.2.139～図 3.2.152 には、様々な条件のもと粒子群の分布を比較したものを示す。

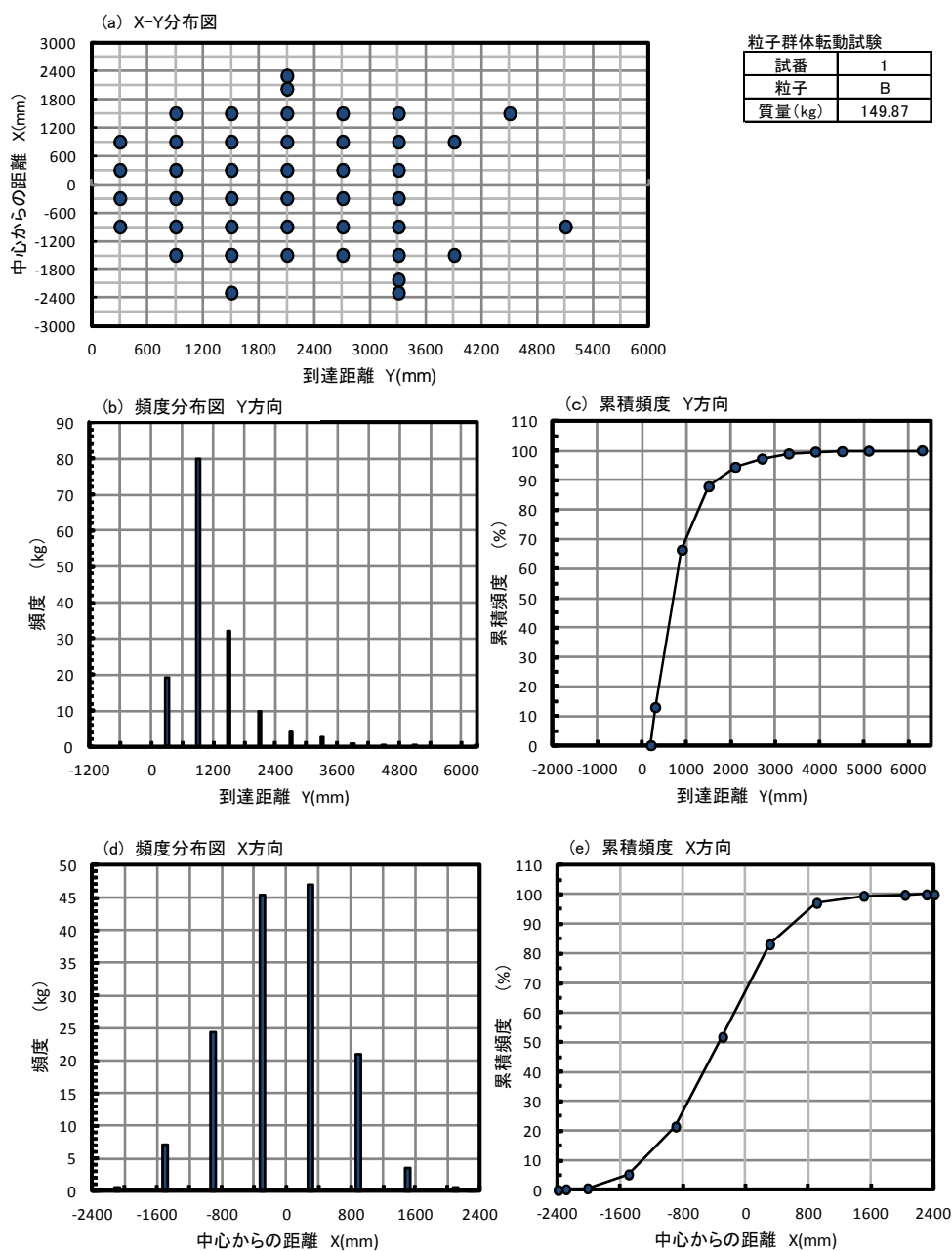


図 3.2.107 粒子群転動試験結果

試番 1 粒子 B、勾配：41度 細粒分含有率 0% 含水比 0%

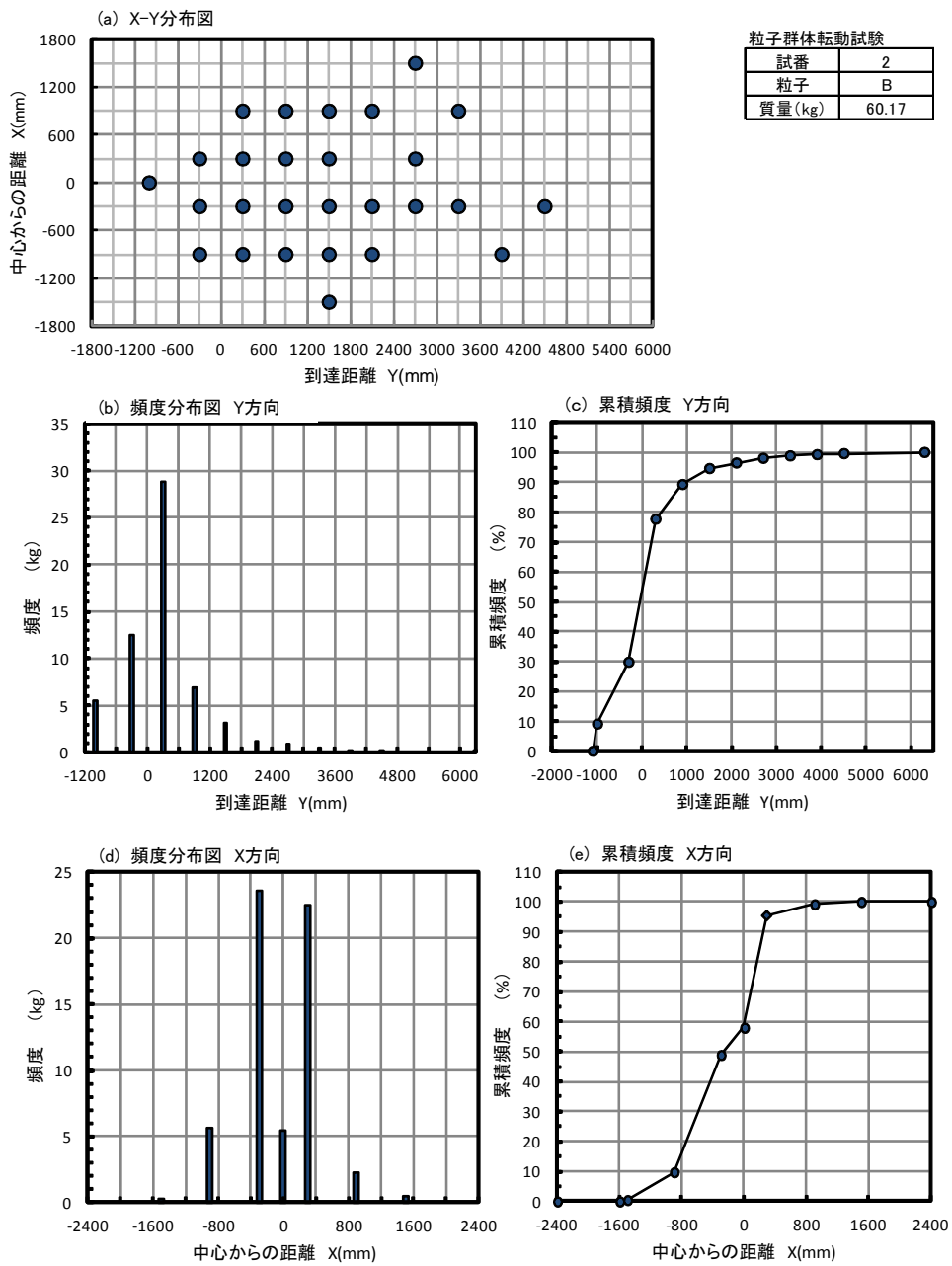


図 3.2.108 粒子群転動試験結果

試番 2 粒子 B、勾配：41 度 細粒分含有率 20% 含水比 2%

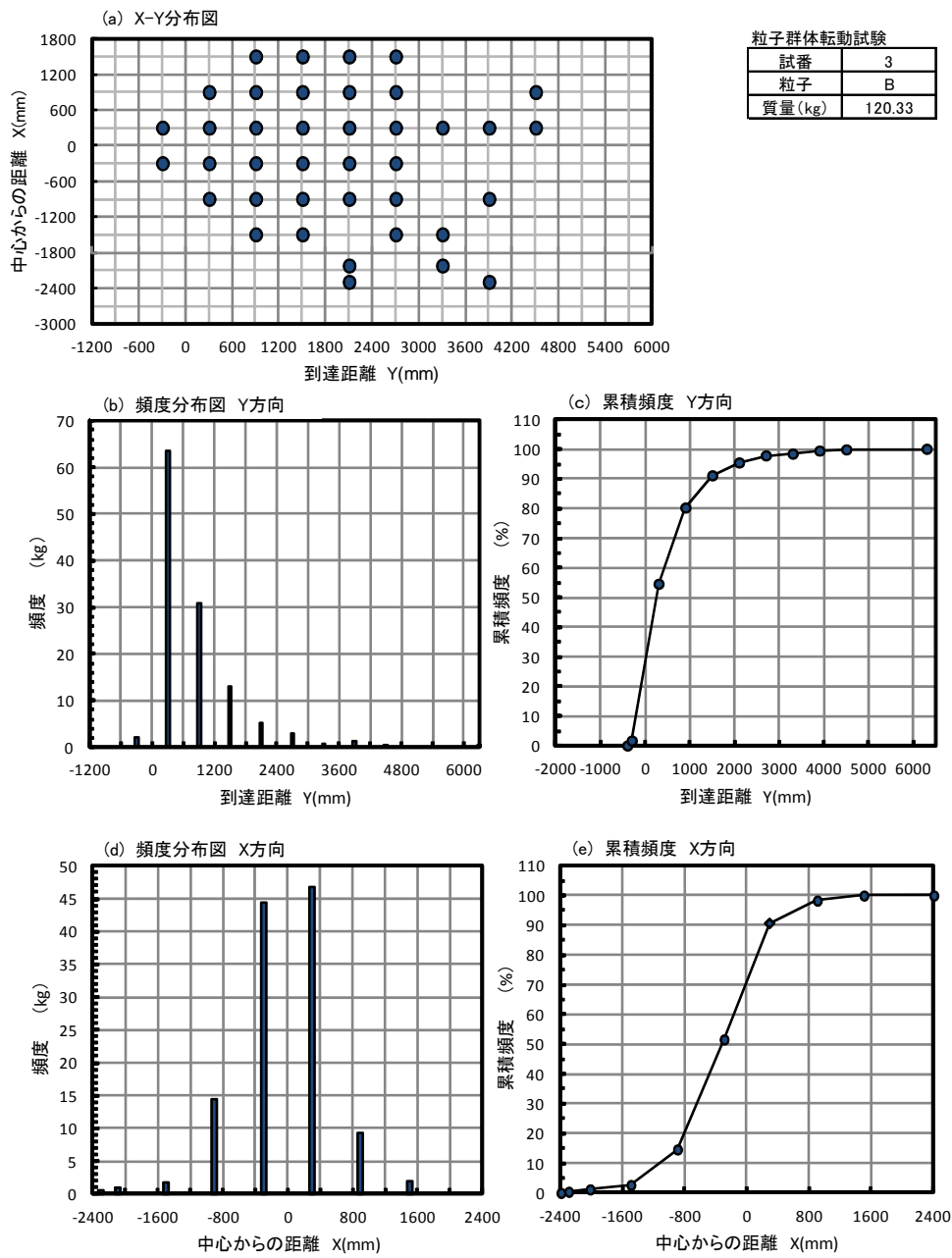


図 3.2.109 粒子群転動試験結果

試番 3 粒子 B、勾配：41 度 細粒分含有率 40% 含水比 2%

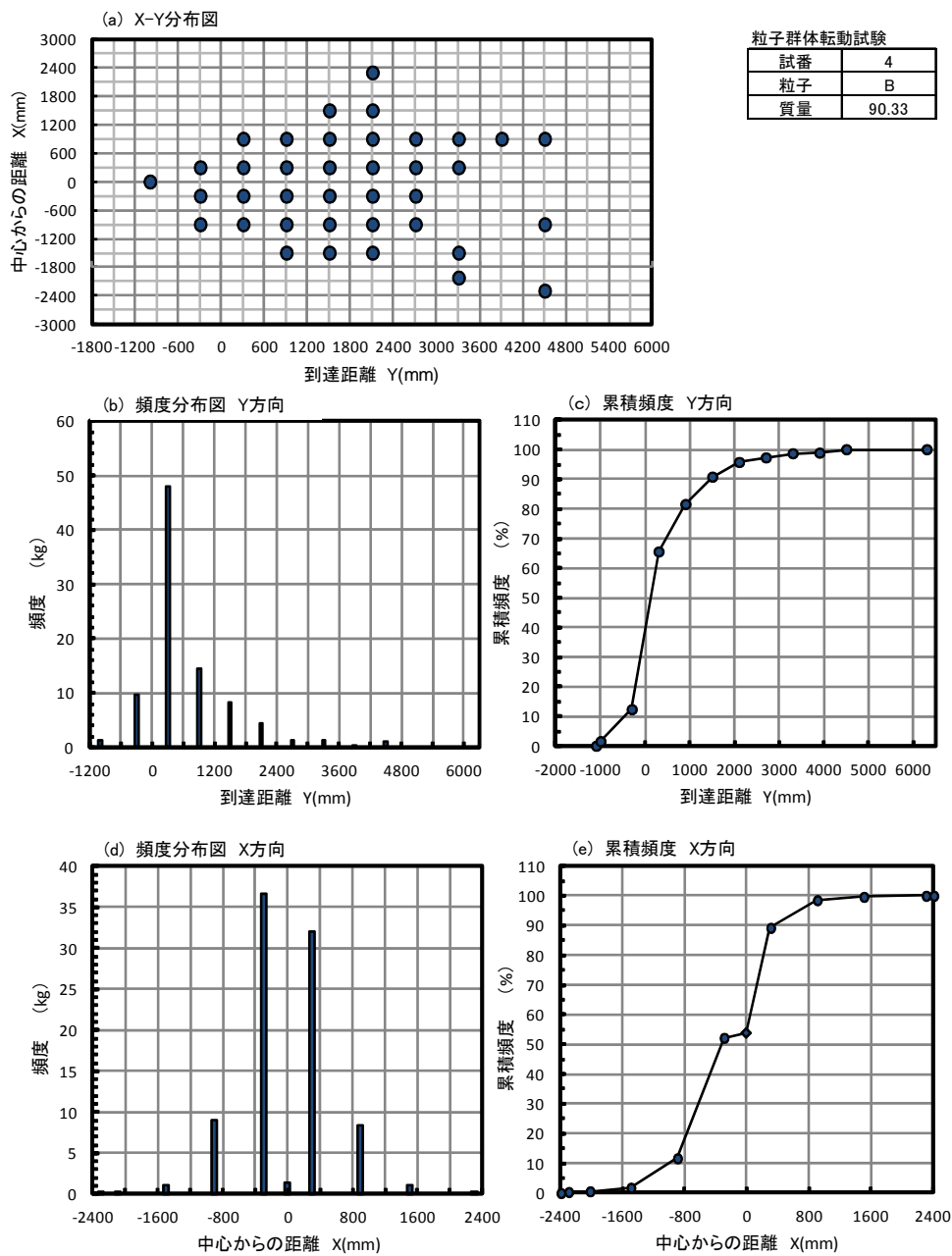


図 3.2.110 粒子群転動試験結果

試番 4 粒子 B、勾配：41 度 細粒分含有率 60% 含水比 2%

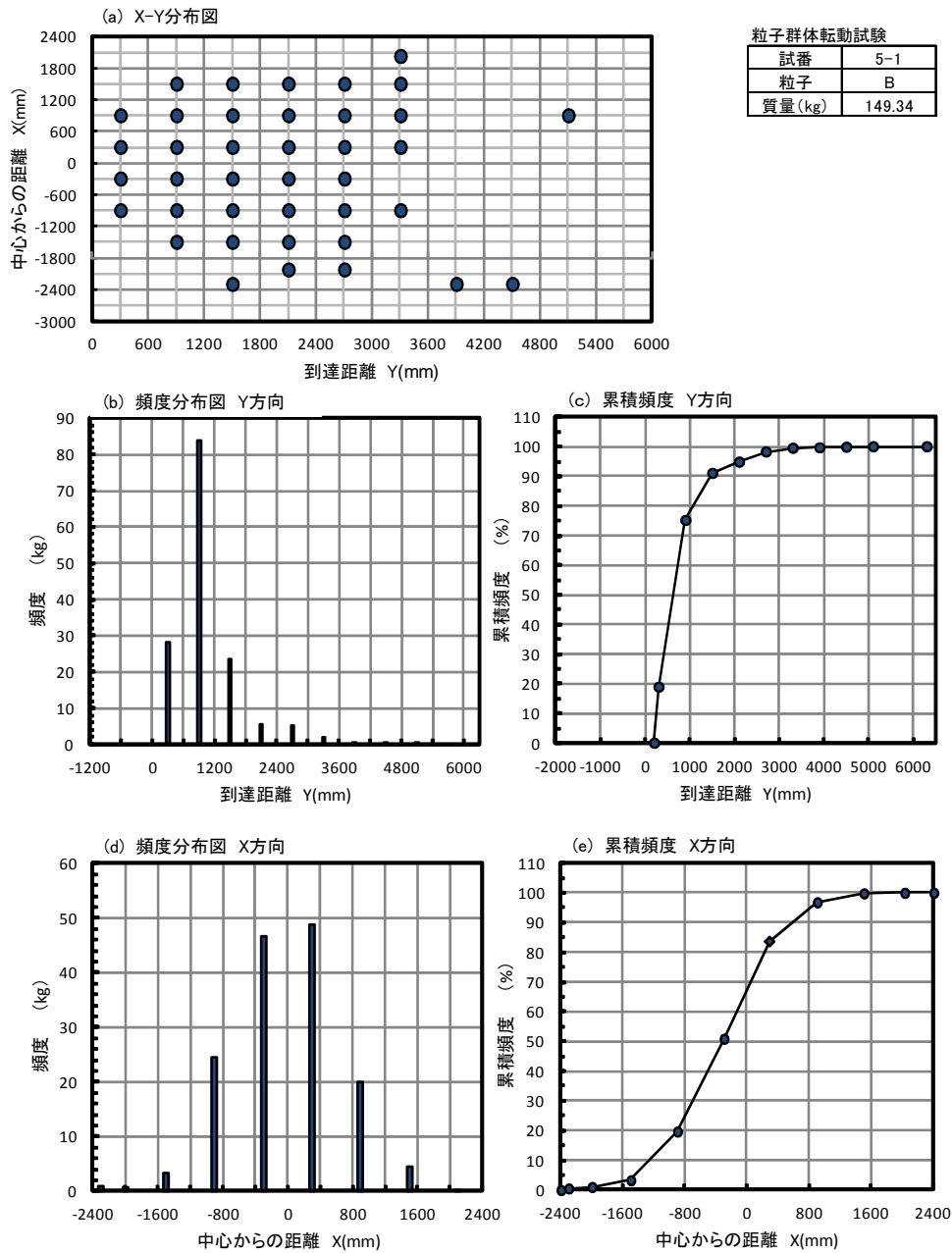


図 3.2.111 粒子群転動試験結果

試番 5-1 粒子 B、勾配：41 度 細粒分含有率 0% 含水比 0%



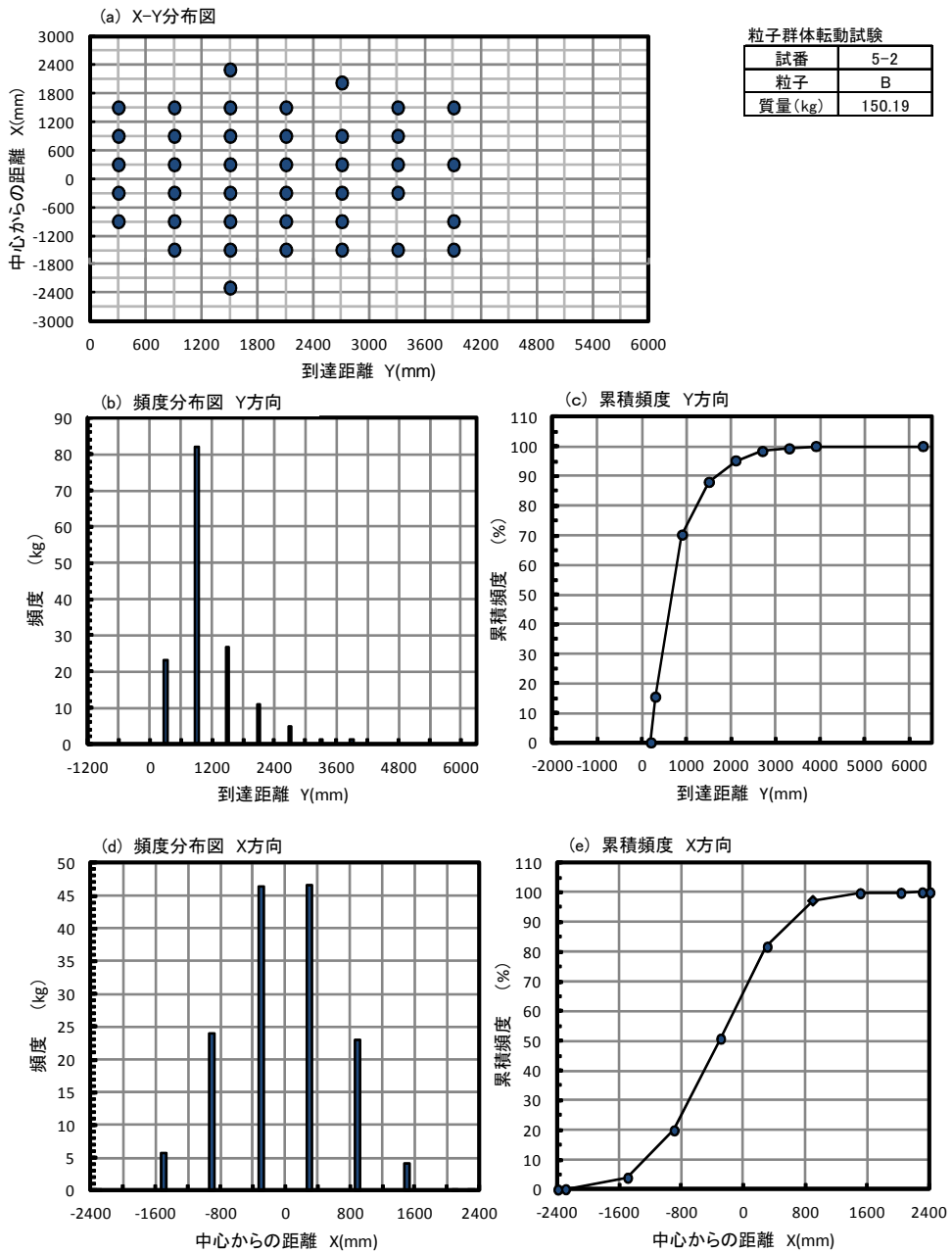


図 3.2.112 粒子群転動試験結果

試番 5-2 粒子 B、勾配：41 度 細粒分含有率 0% 含水比 0%

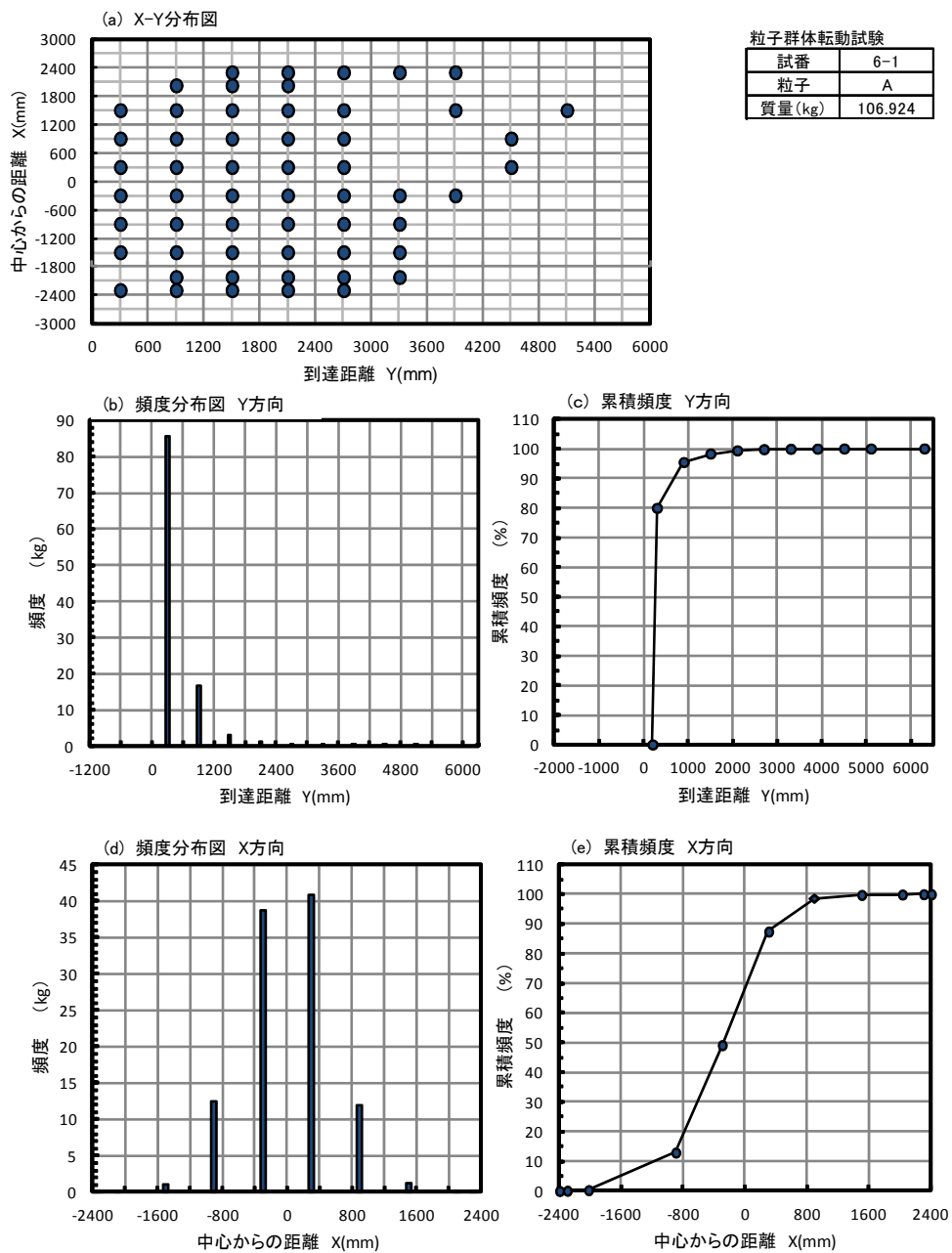


図 3.2.113 粒子群転動試験結果

試番 6-1 粒子 A、勾配：41 度 細粒分含有率 0% 含水比 0%

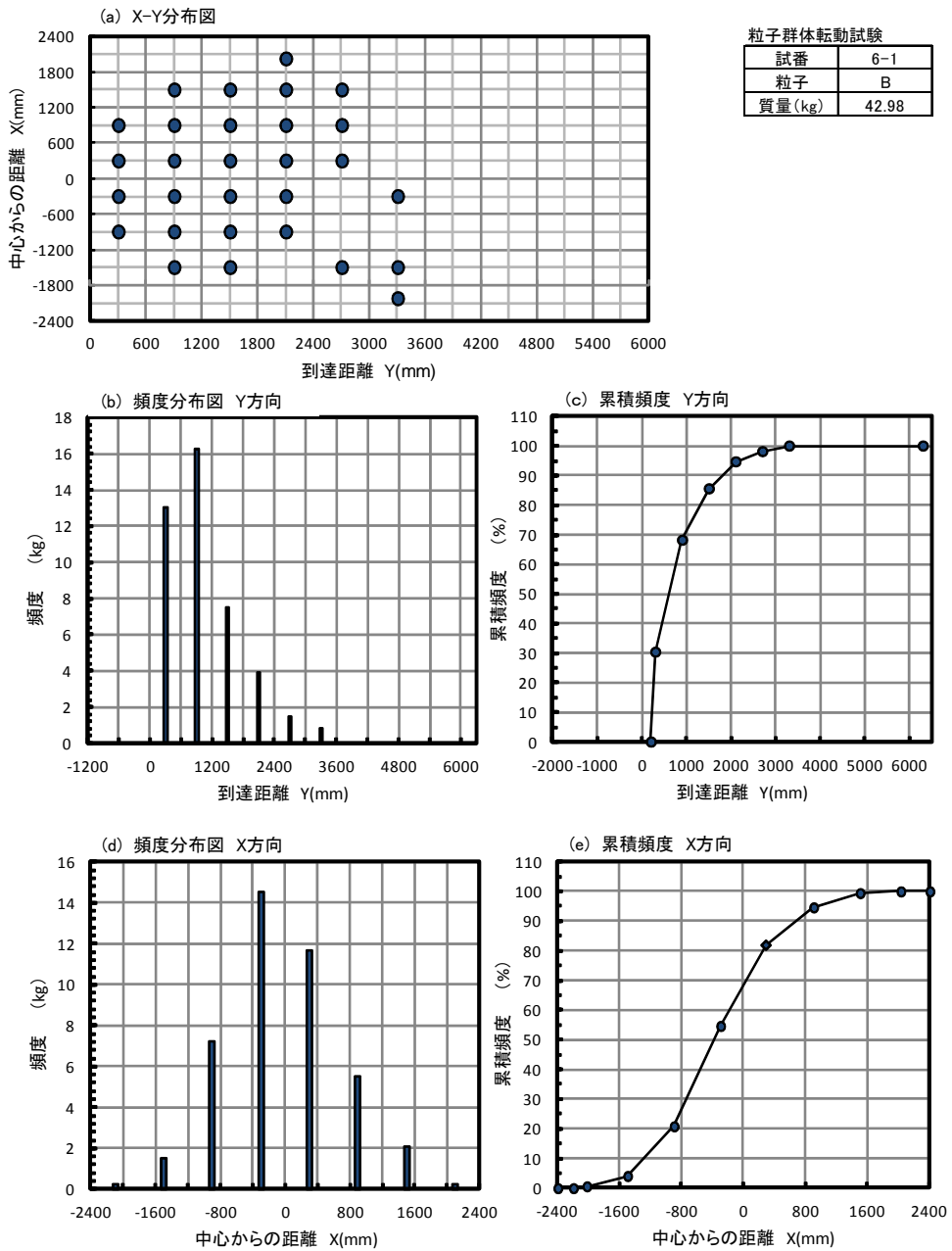


図 3.2.114 粒子群転動試験結果

試番 6-1 粒子 B、勾配：41 度 細粒分含有率 0% 含水比 0%

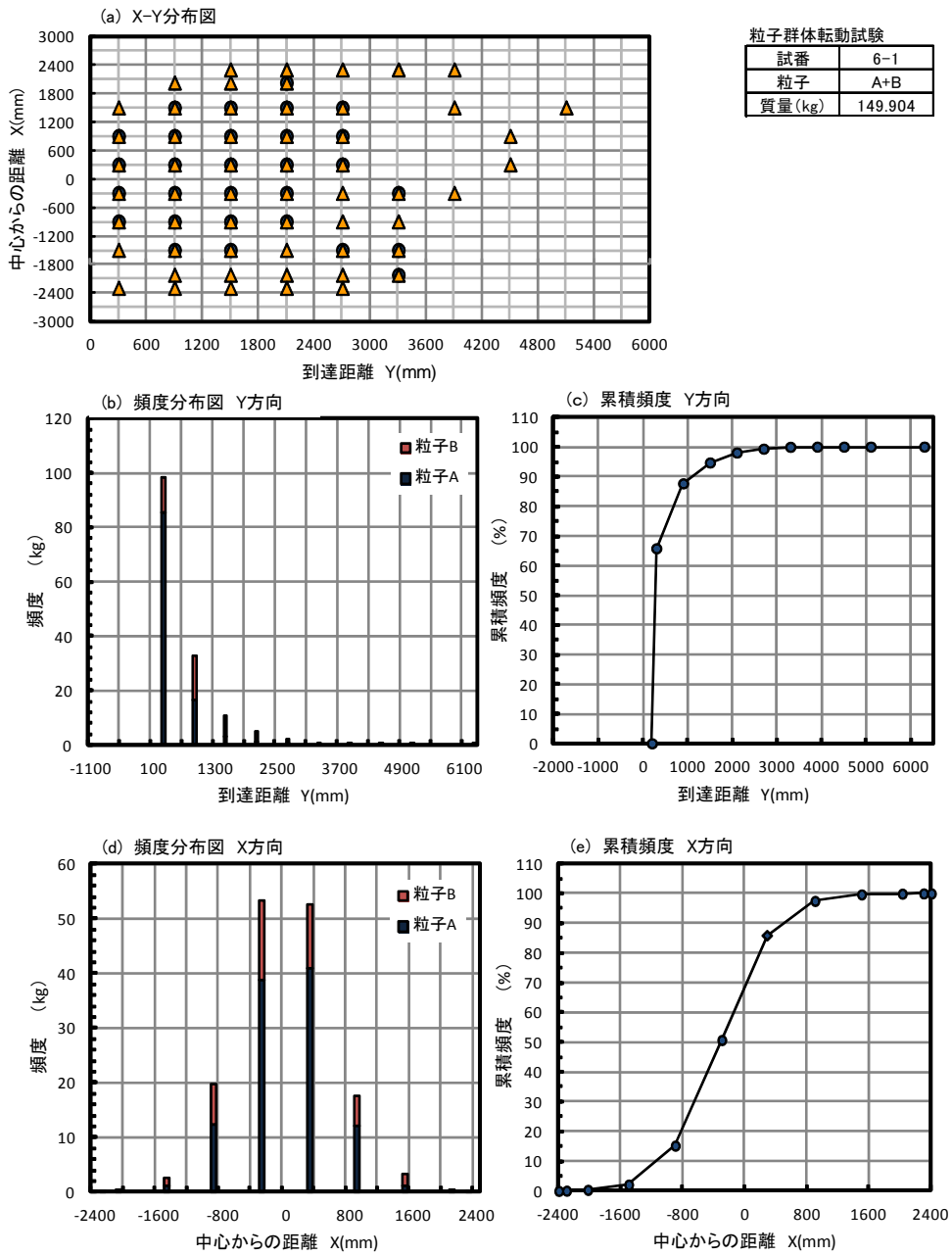


図 3. 2. 115 粒子群転動試験結果

試番 6-1 粒子 A+B、勾配：41 度 細粒分含有率 0% 含水比 0%

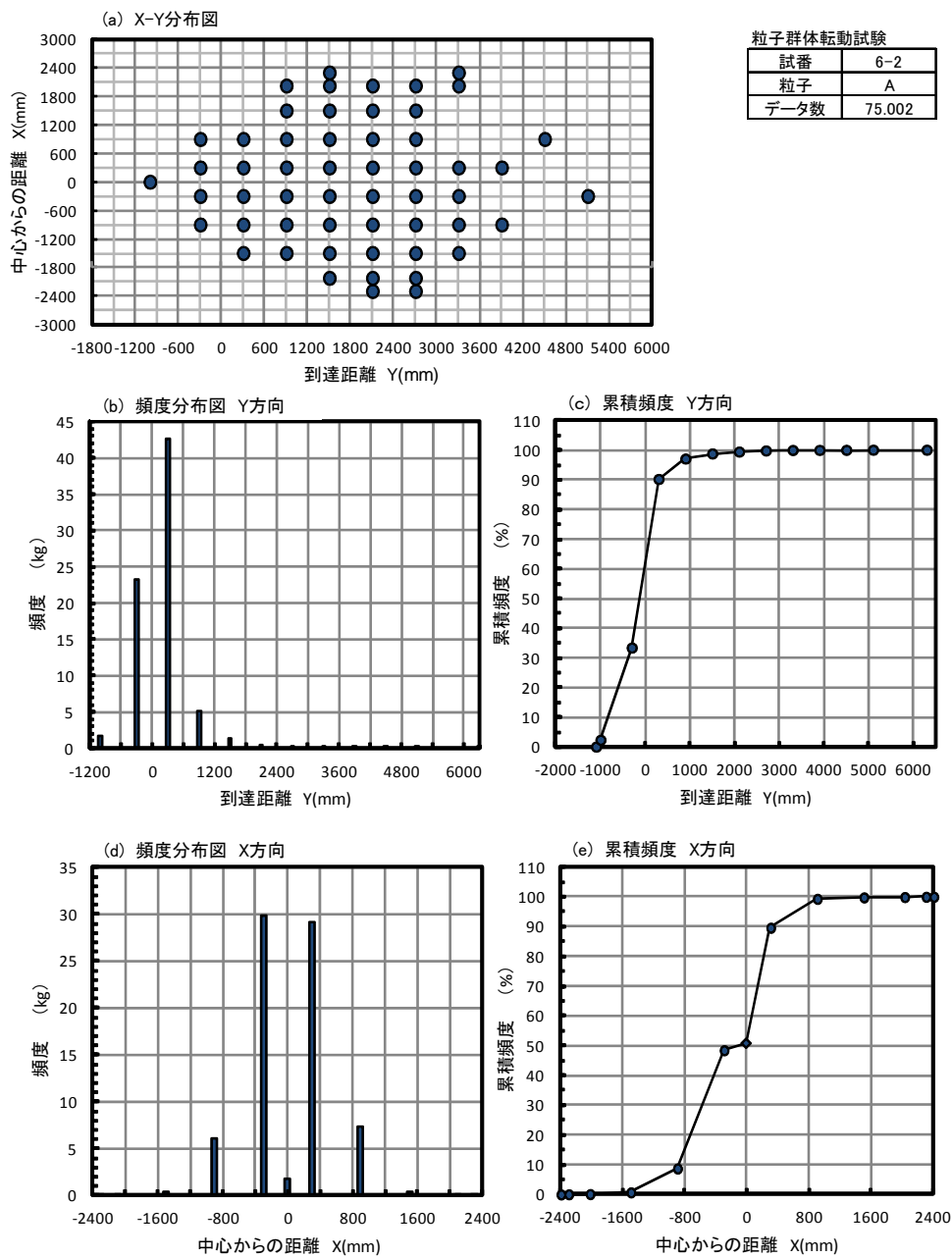


図 3.2.116 粒子群転動試験結果

試番 6-2 粒子 A、勾配：41 度 細粒分含有率 30% 含水比 2%

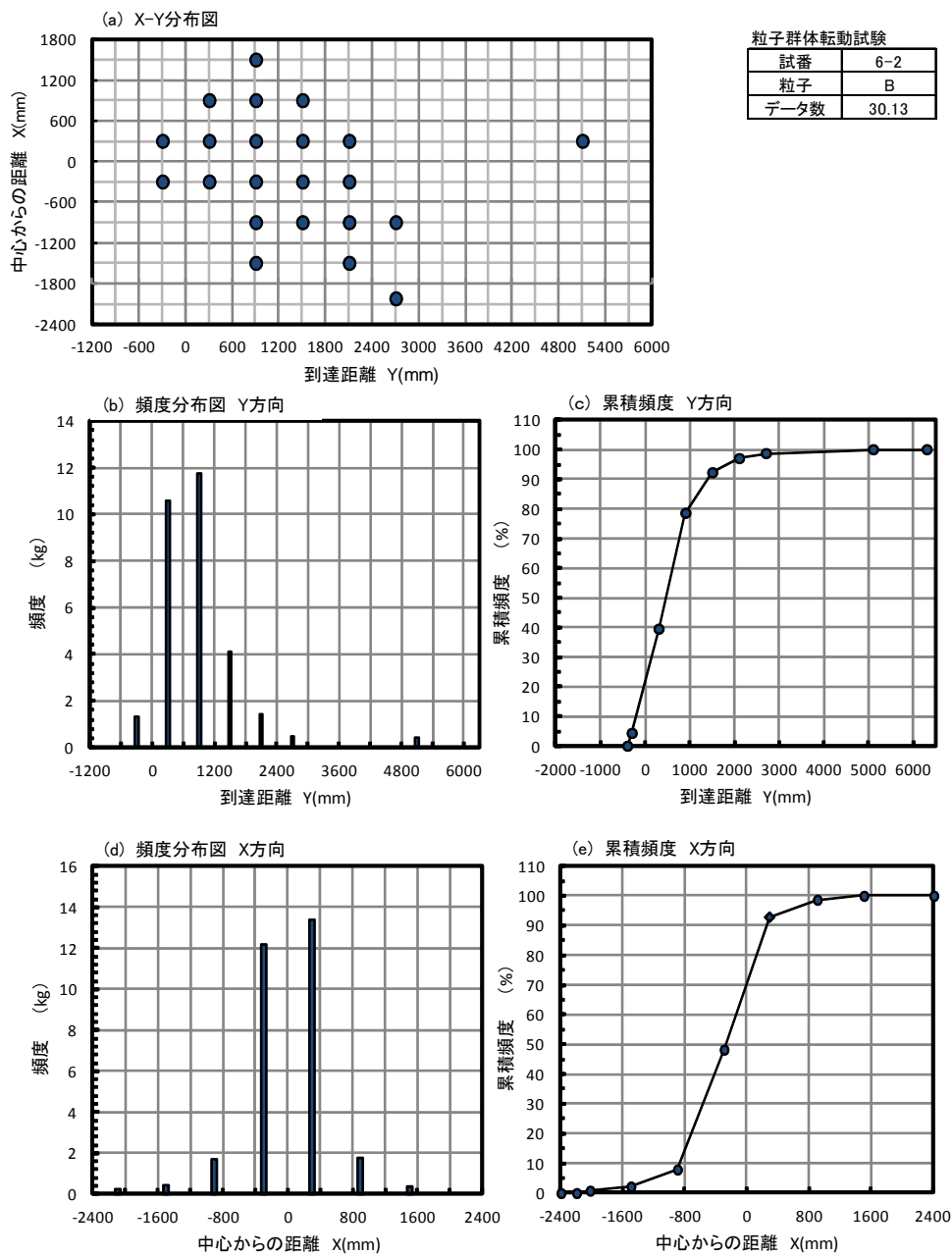


図 3.2.117 粒子群転動試験結果

試番 6-2 粒子 B、勾配：41 度 細粒分含有率 30% 含水比 2%

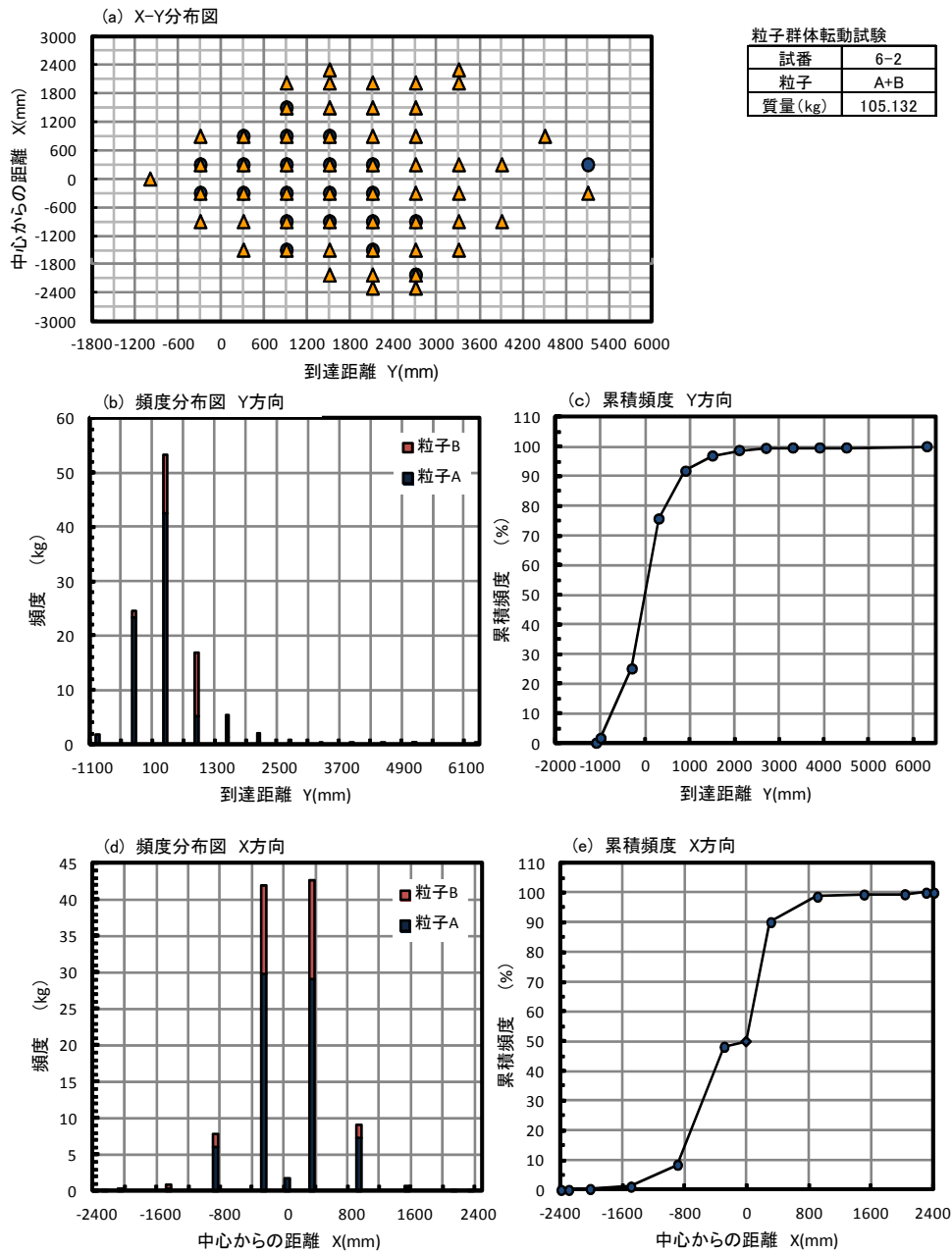


図 3. 2. 118 粒子群転動試験結果

試番 6-2 粒子 A+B、勾配 : 41 度 細粒分含有率 30% 含水比 2%



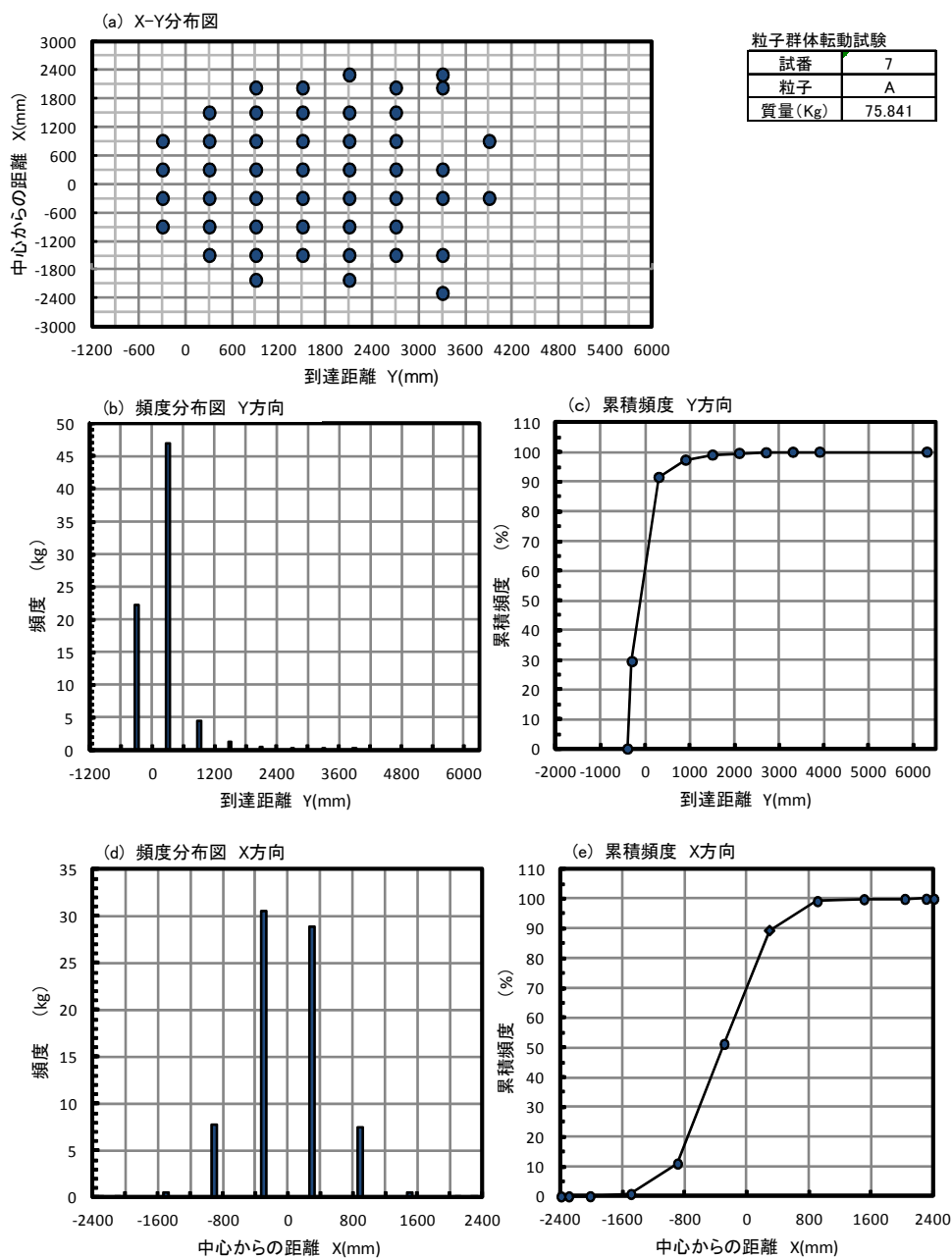


図 3.2.119 粒子群転動試験結果

試番 7 粒子 A、勾配：41 度 細粒分含有率 30% 含水比 16%

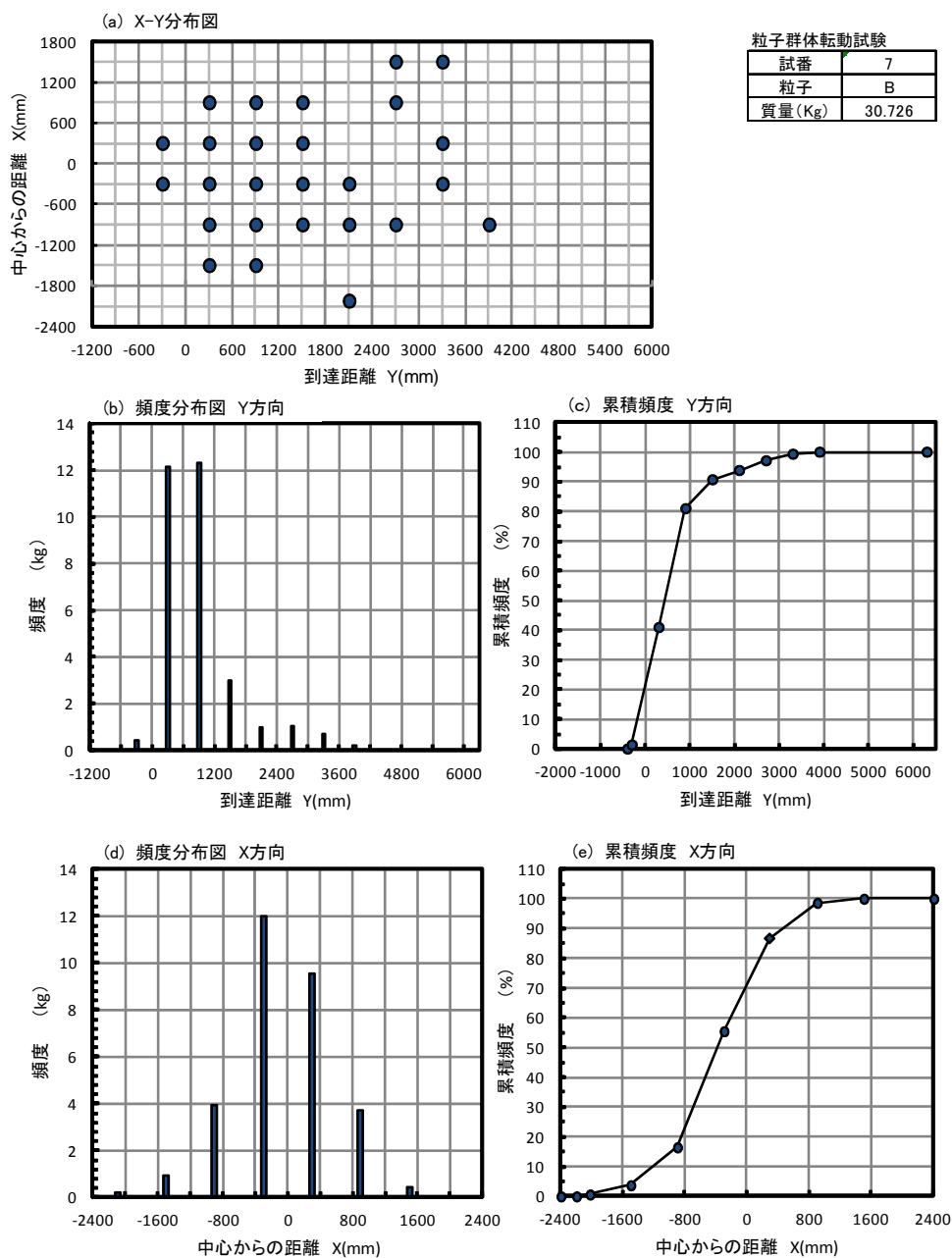


図 3.2.120 粒子群転動試験結果

試番 7 粒子 B、勾配：41 度 細粒分含有率 30% 含水比 16%

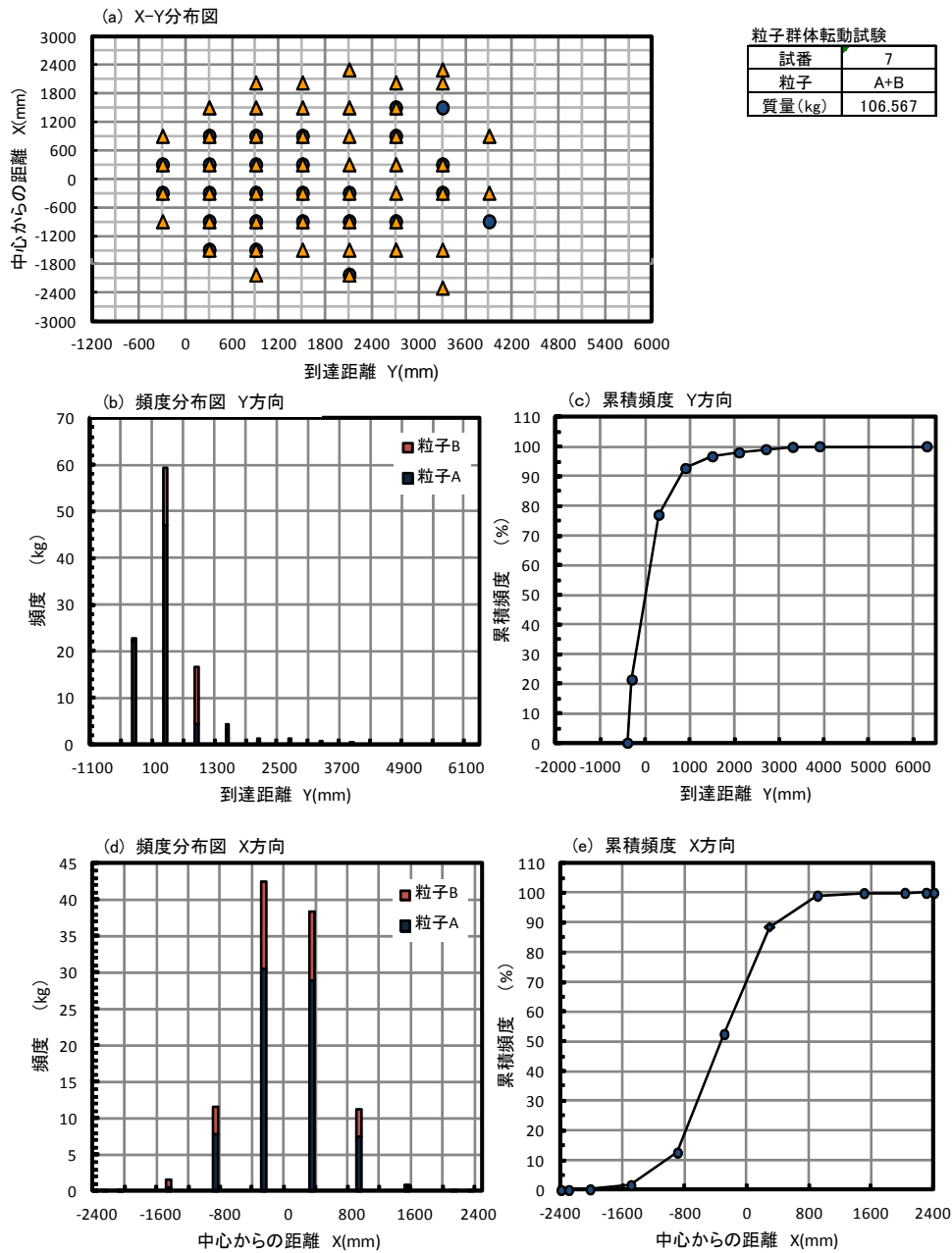


図 3. 2. 121 粒子群転動試験結果

試番 7 粒子 A+B、勾配：41 度 細粒分含有率 30% 含水比 16%

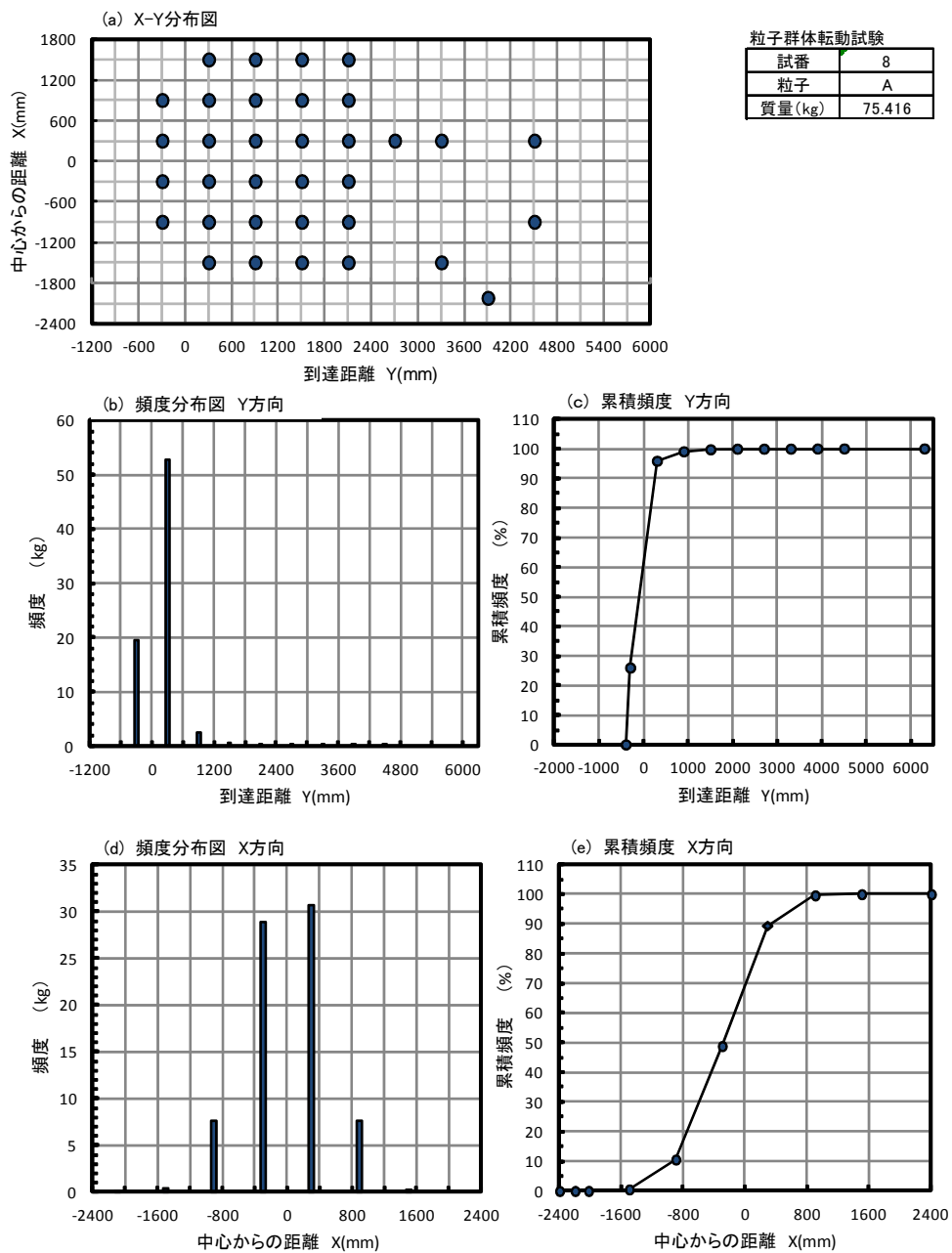


図 3. 2. 122 粒子群転動試験結果

試番 8 粒子 A、勾配：41 度 細粒分含有率 30% 含水比 20%

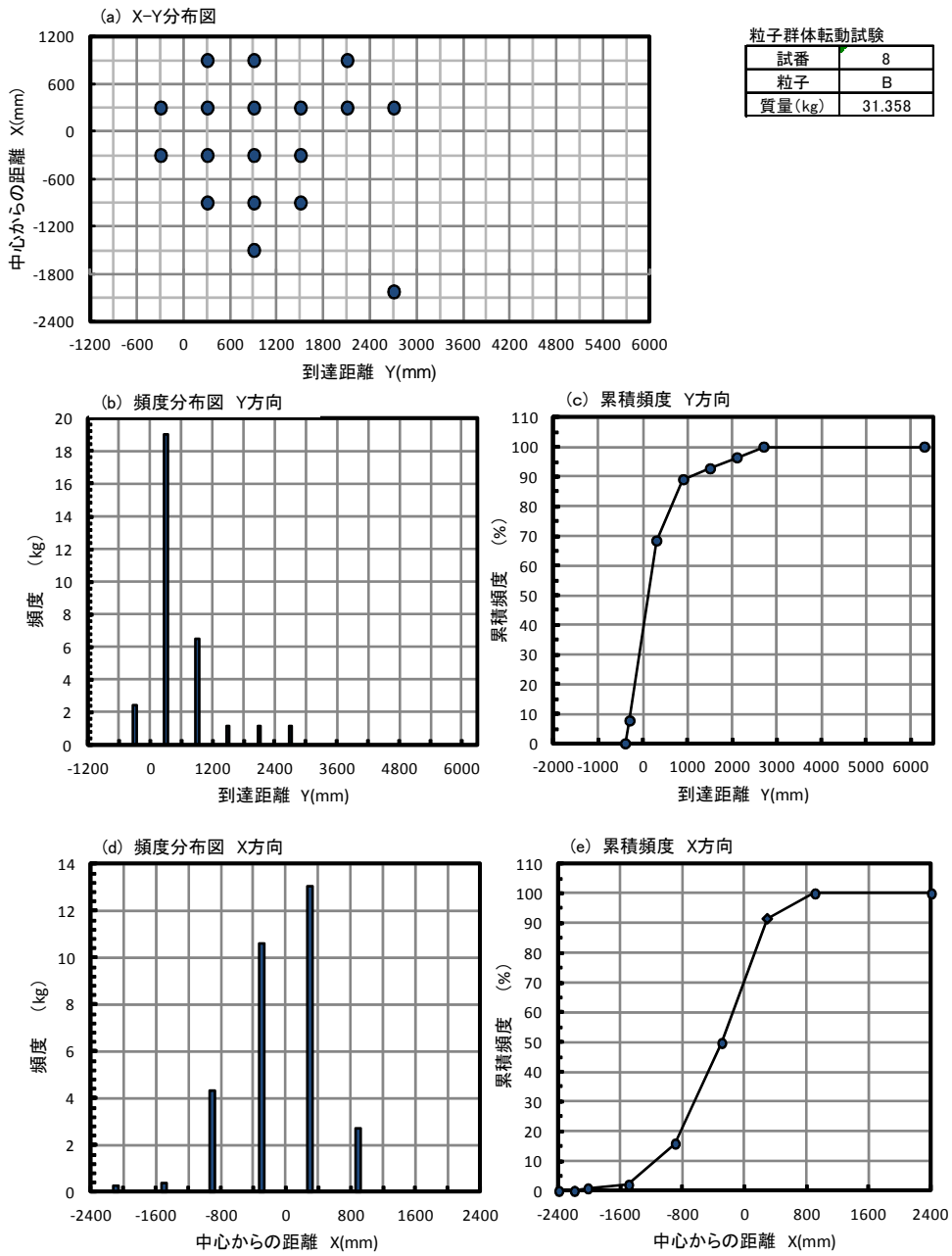


図 3. 2. 123 粒子群転動試験結果

試番 8 粒子 B、勾配：41 度 細粒分含有率 30% 含水比 20%

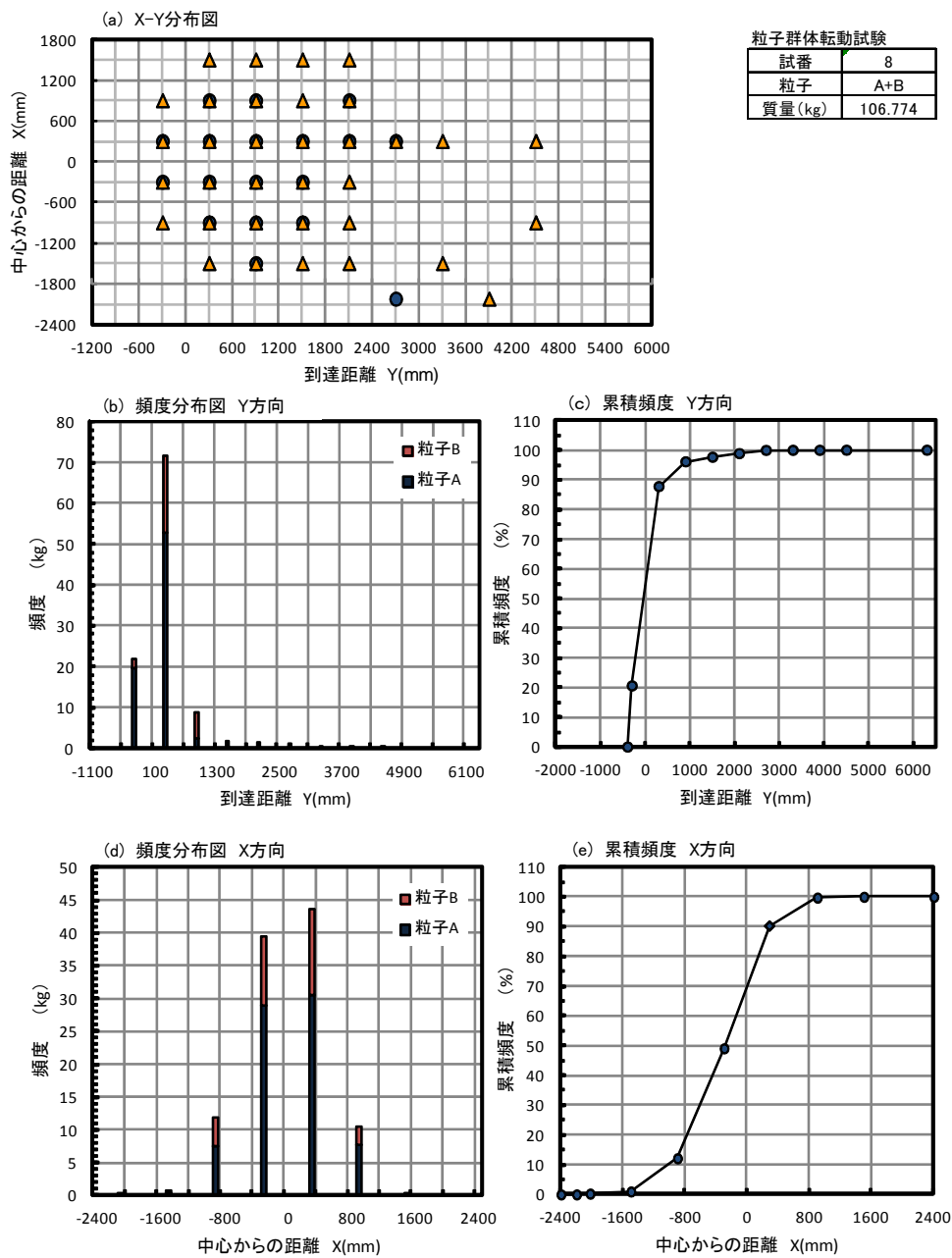


図 3.2.124 粒子群転動試験結果

試番 8 粒子 A+B、勾配：41 度 細粒分含有率 30% 含水比 20%

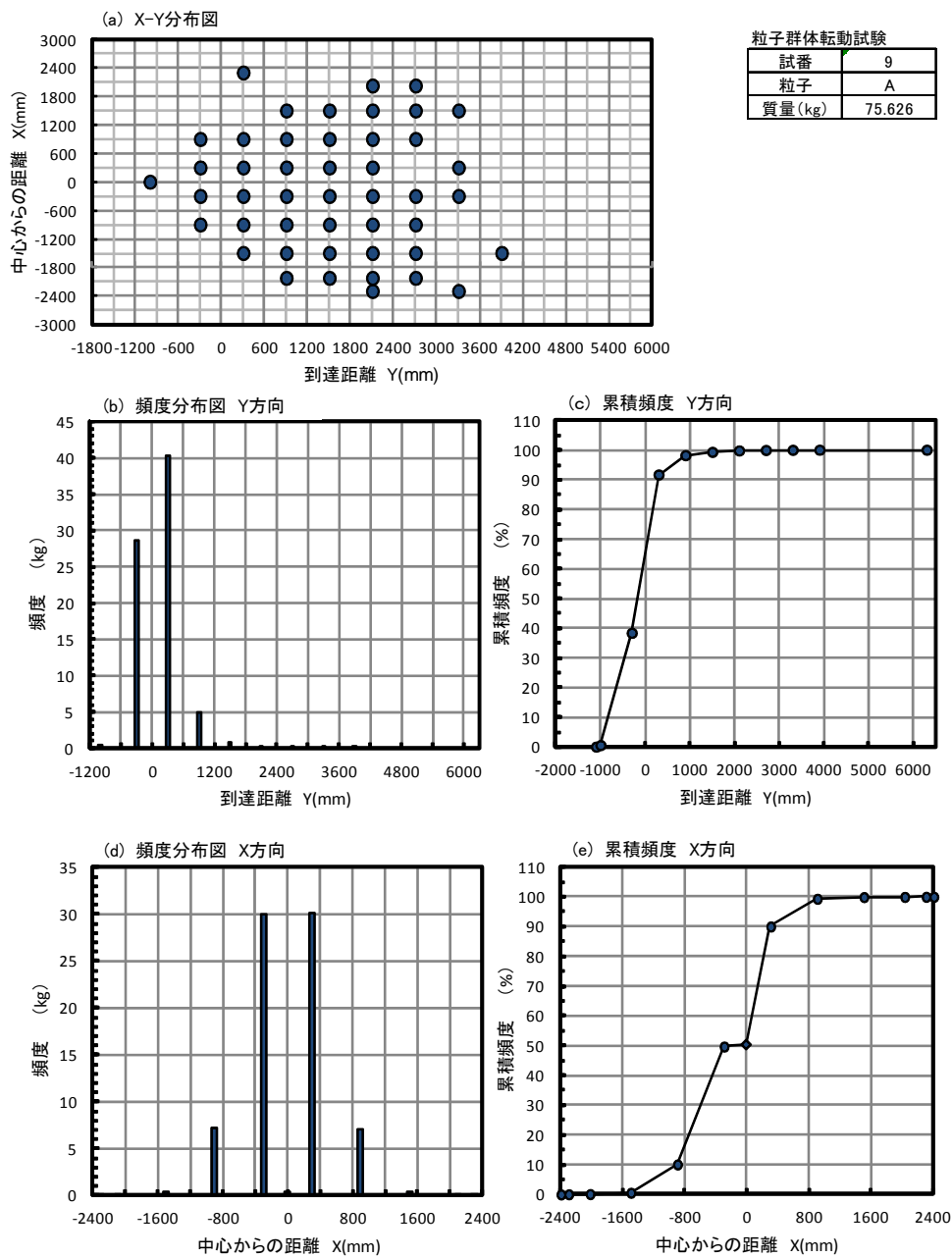


図 3.2.125 粒子群転動試験結果

試番 9 粒子 A、勾配：41 度 細粒分含有率 30% 含水比 28%



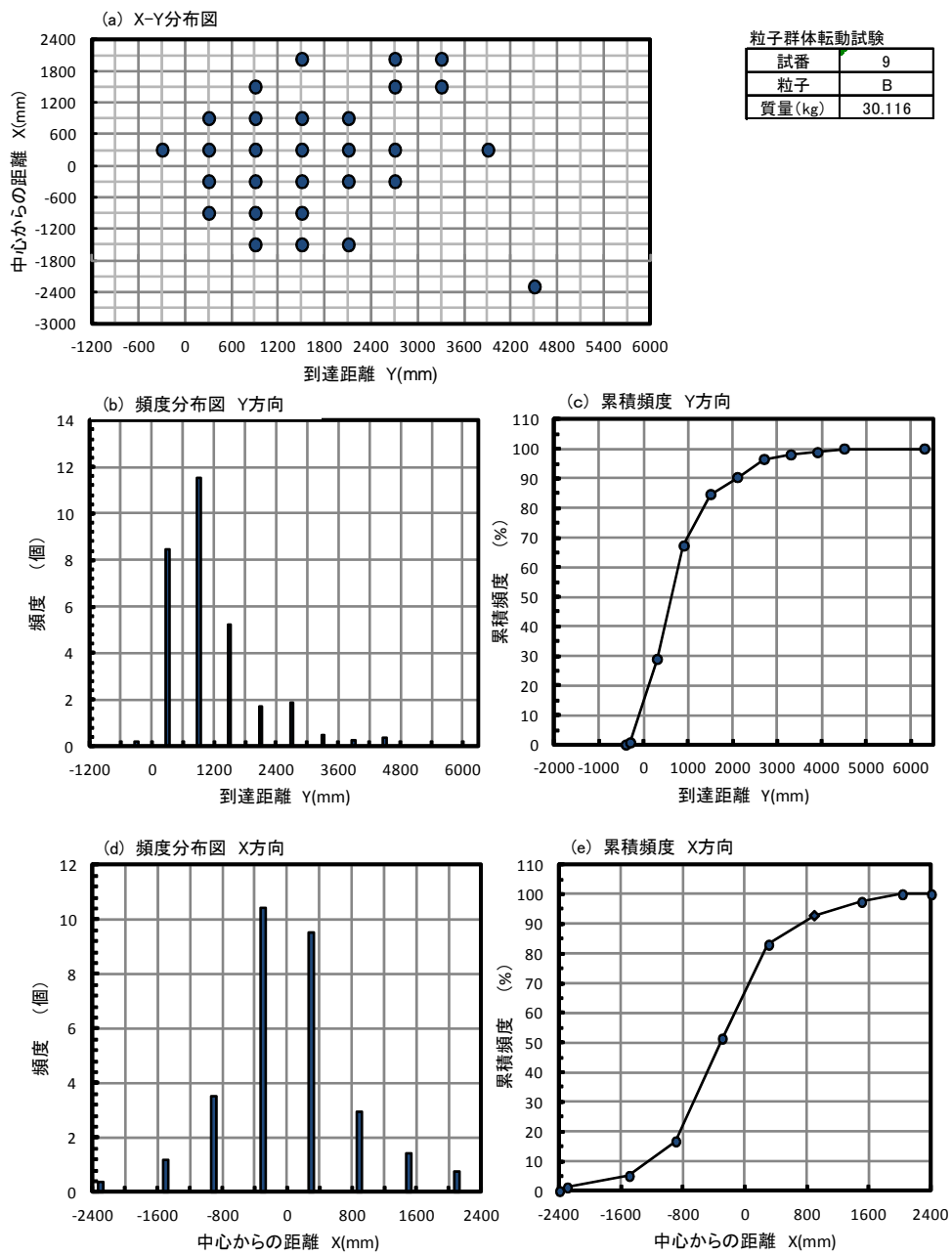


図 3.2.126 粒子群転動試験結果

試番 9 粒子 B、勾配：41 度 細粒分含有率 30% 含水比 28%

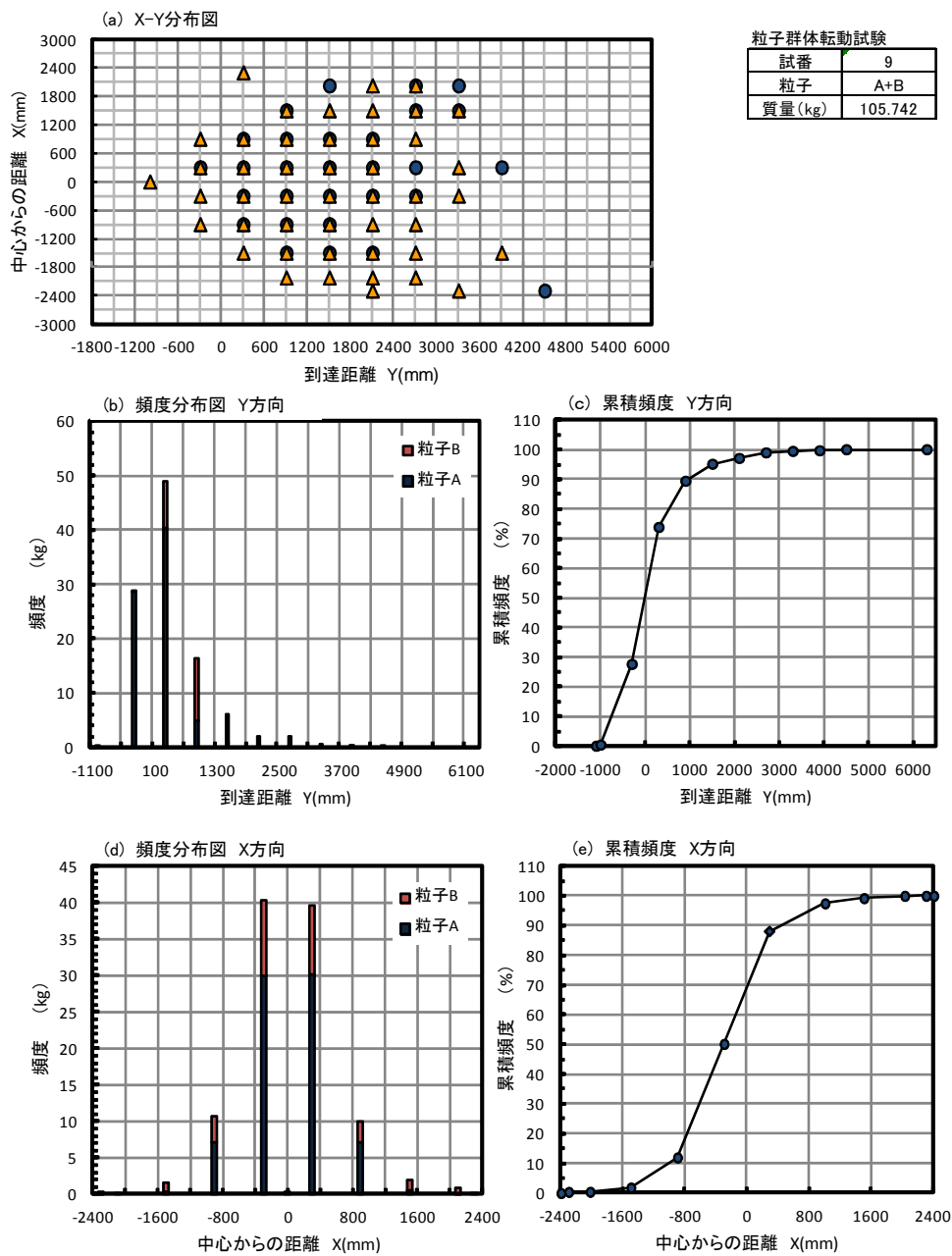


図 3. 2. 127 粒子群転動試験結果

試番 9 粒子 A+B、勾配：41 度 細粒分含有率 30% 含水比 28%

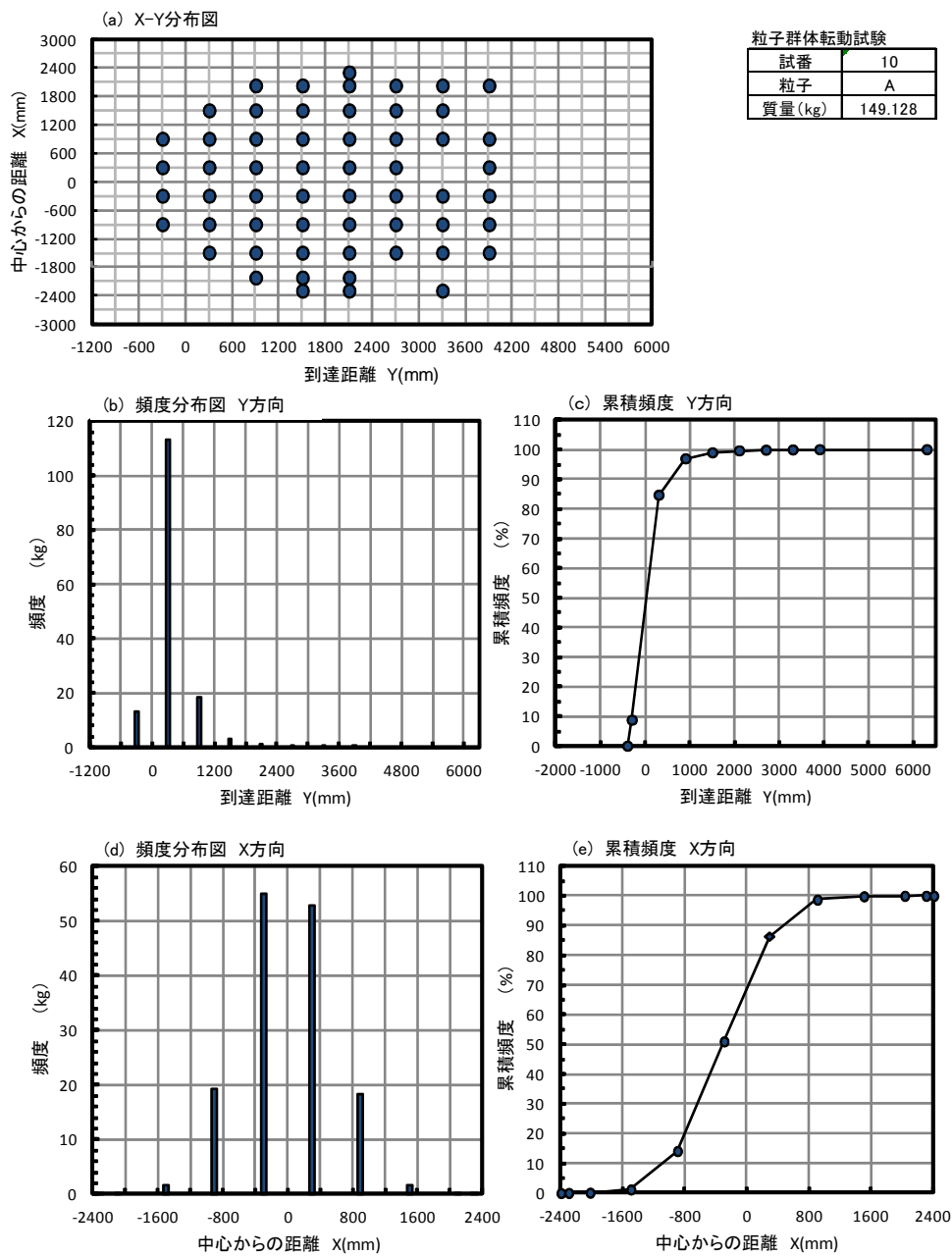


図 3. 2. 128 粒子群転動試験結果

試番 10 粒子 A、勾配：41 度 細粒分含有率 0% 含水比 0%

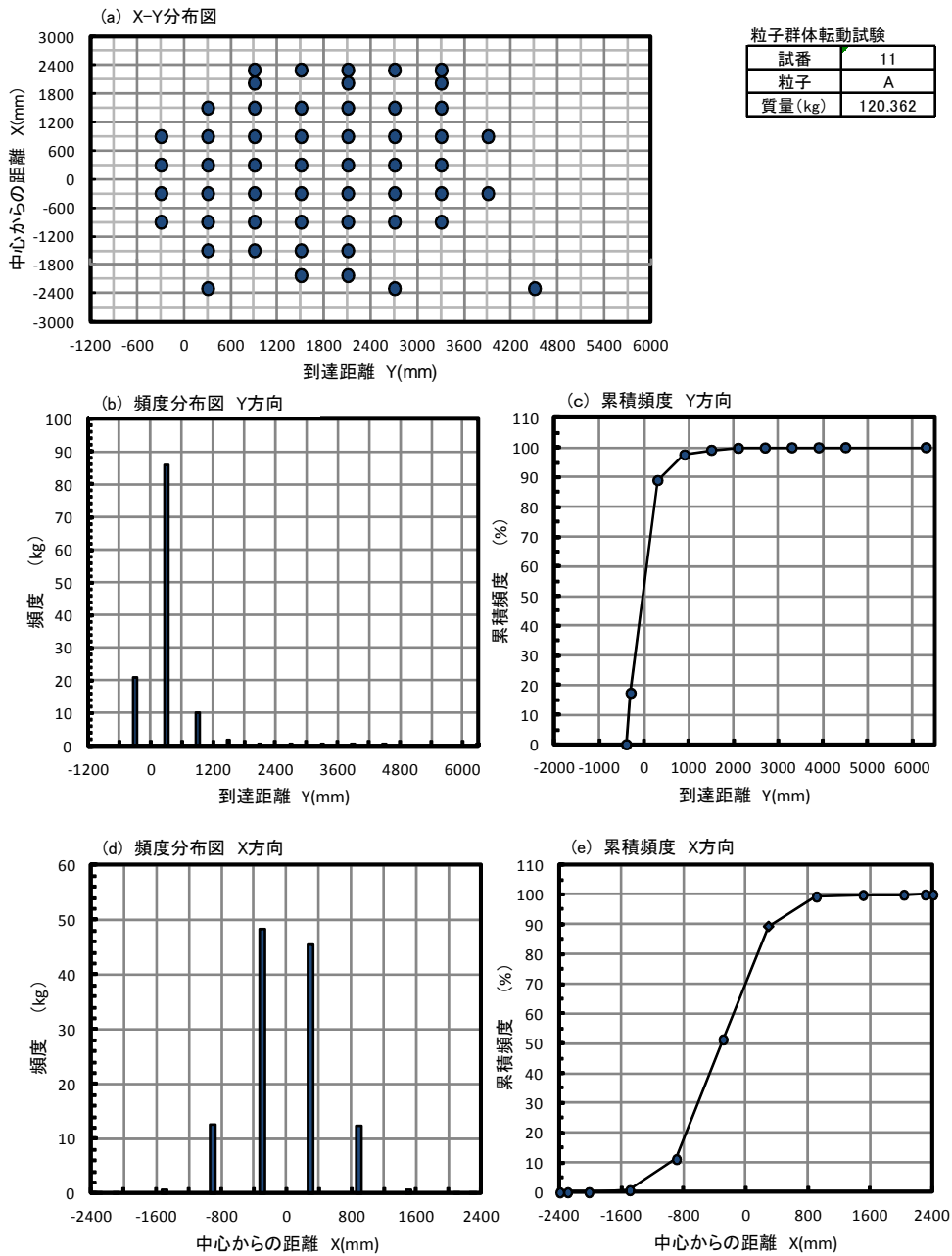


図 3. 2. 129 粒子群転動試験結果

試番 11 粒子 A、勾配：41 度 細粒分含有率 20% 含水比 0%

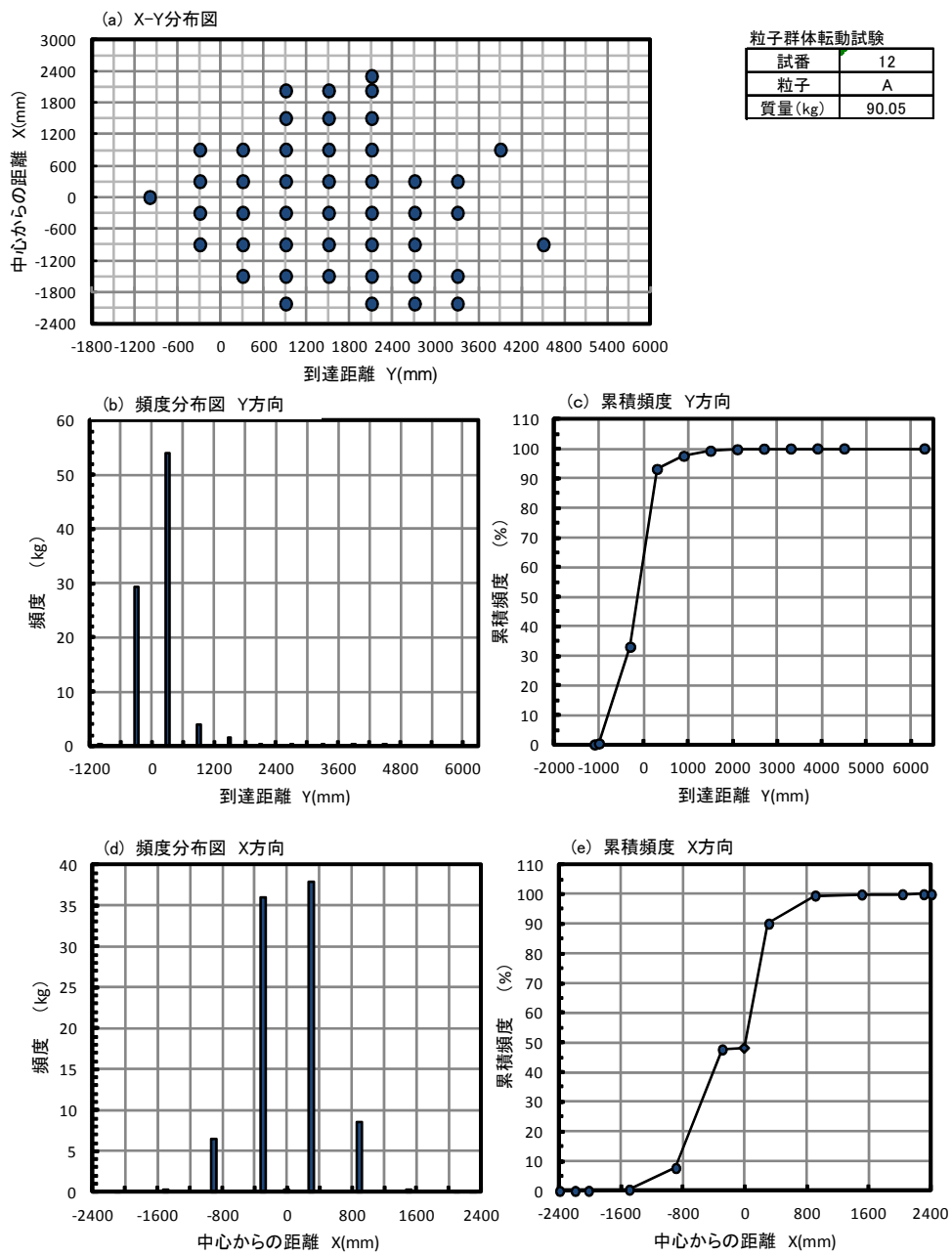


図 3.2.130 粒子群転動試験結果

試番 12 粒子 A、勾配：41 度 細粒分含有率 30% 含水比 2%

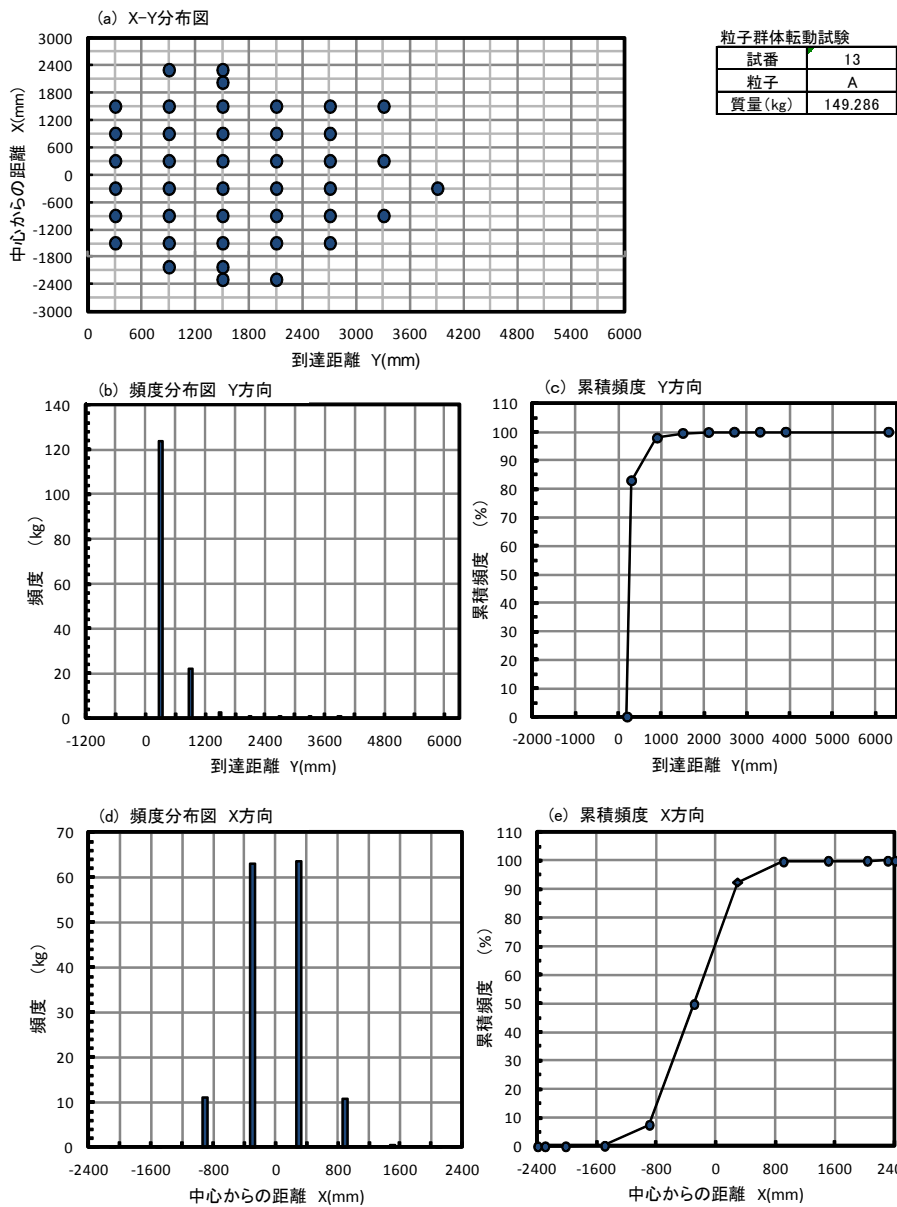


図 碎石群転動試験結果  
 試番13 粒子:A、勾配:60度 細粒分含有率0% 含水比0%

図 3.2.131 粒子群転動試験結果

試番 13 粒子 A、勾配 : 60 度 細粒分含有率 0% 含水比 0%

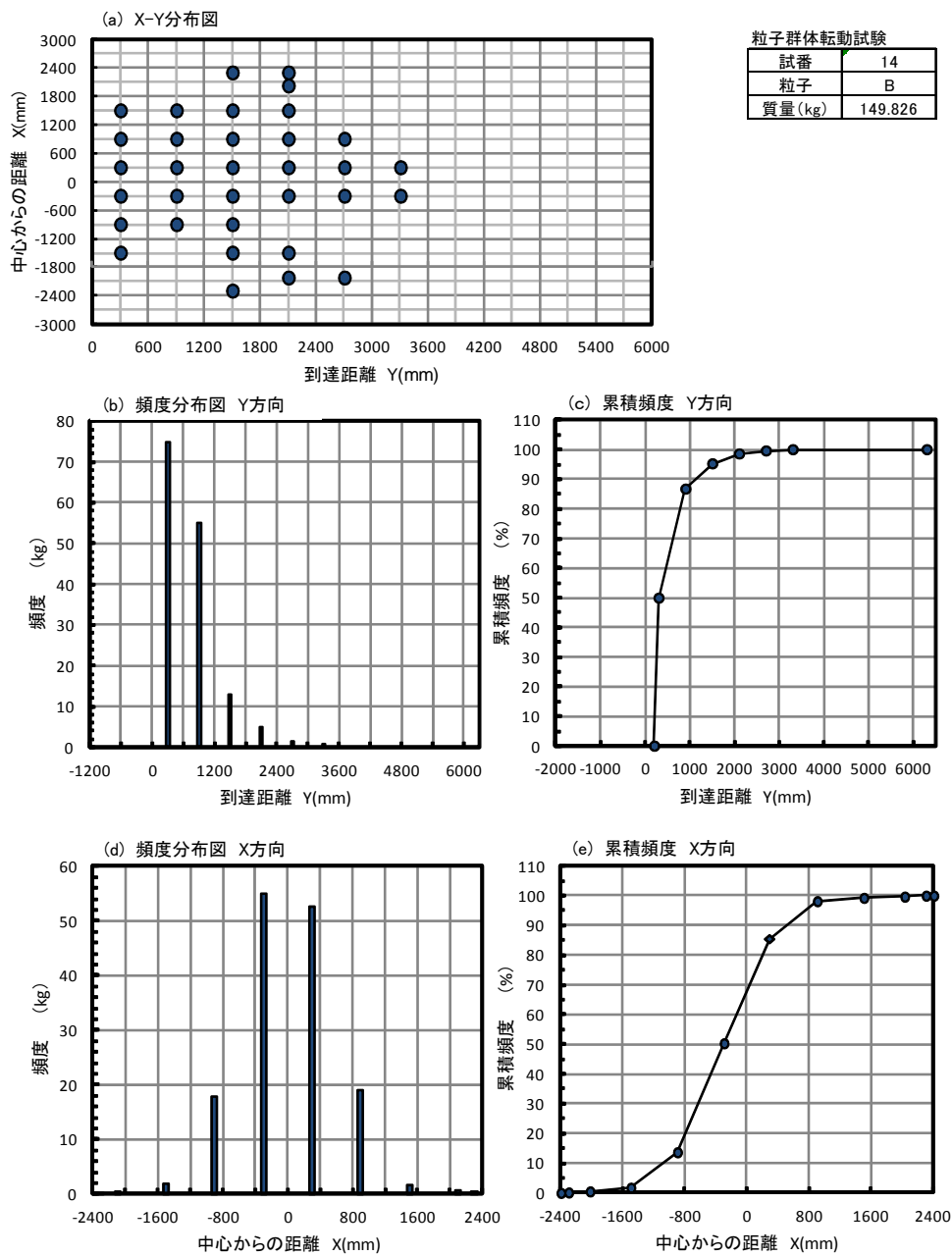


図 3. 2. 132 粒子群転動試験結果

試番 14 粒子 B、勾配：60度 細粒分含有率0% 含水比0%



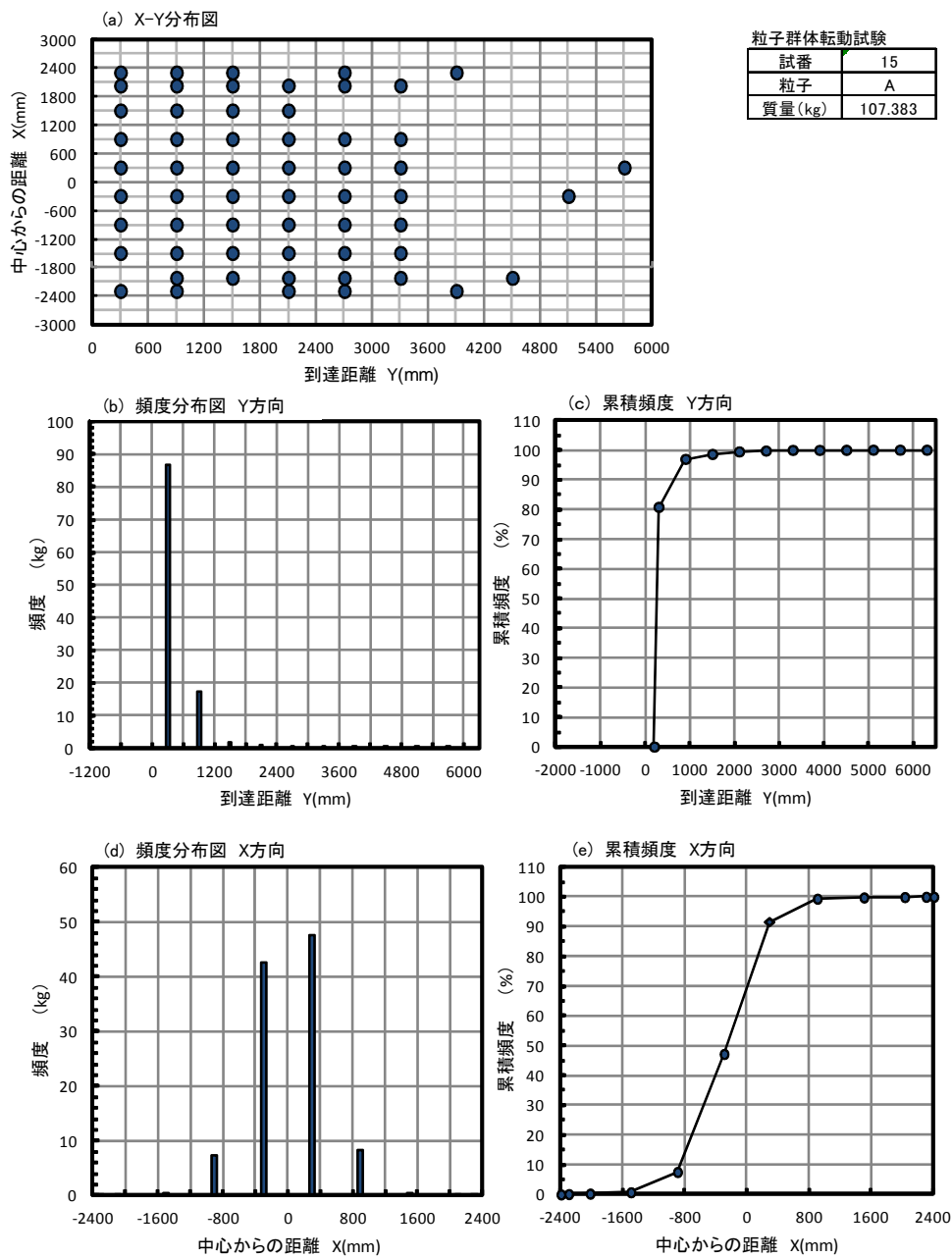


図 3. 2. 133 粒子群転動試験結果

試番 15 粒子 A、勾配：60 度 細粒分含有率 0% 含水比 0%

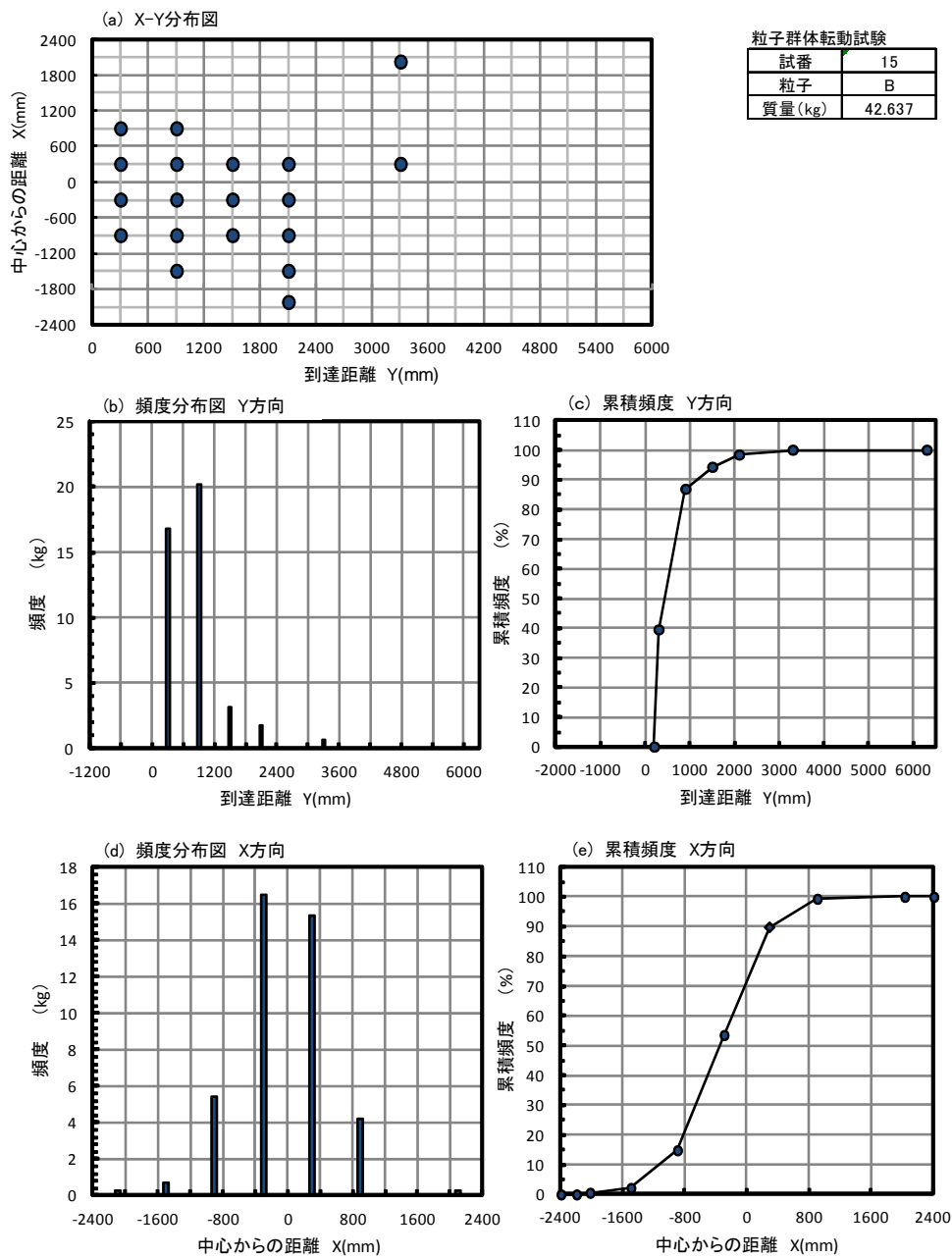


図 3.2.134 粒子群転動試験結果

試番 15 粒子 B、勾配：60 度 細粒分含有率 0% 含水比 0%

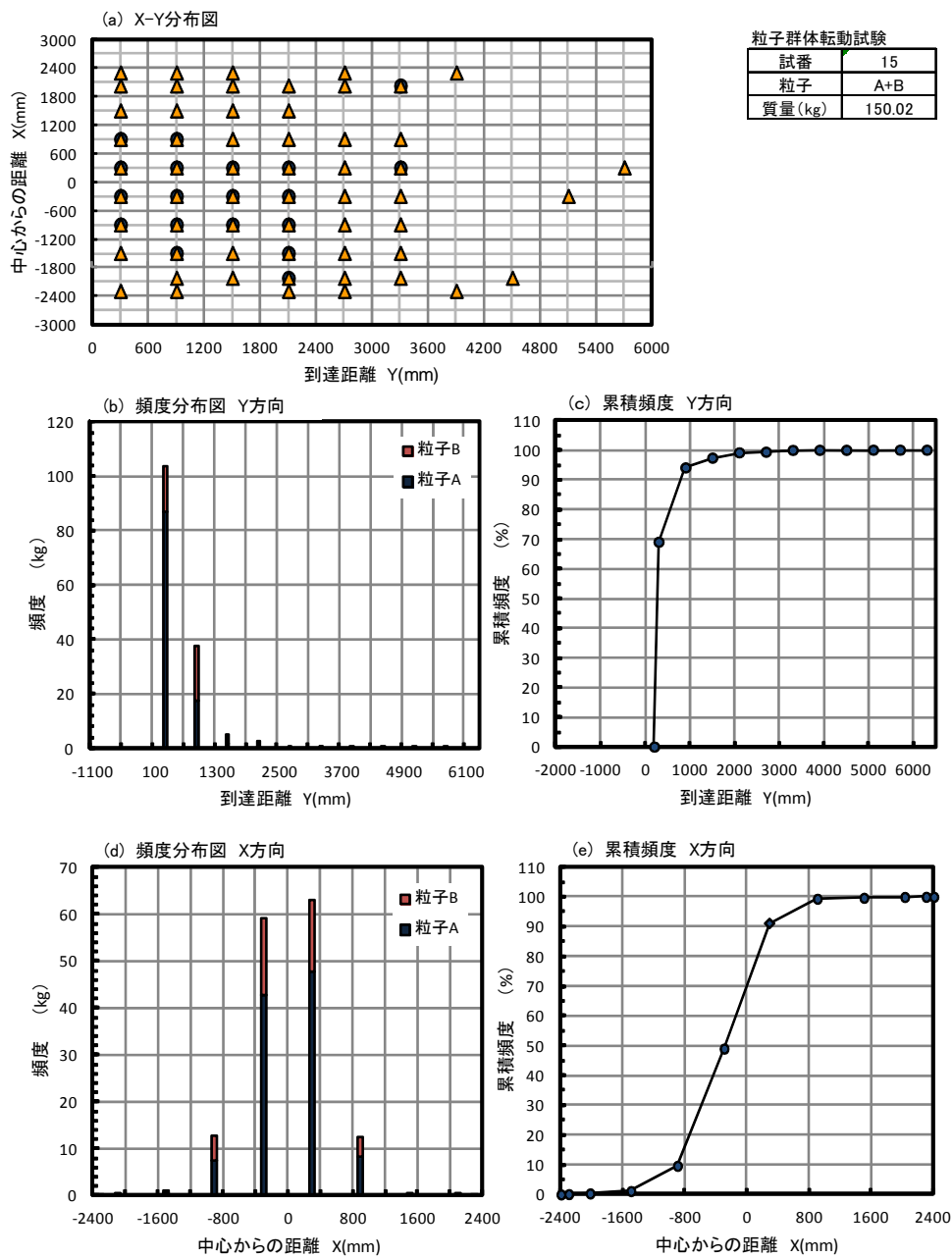


図 3. 2. 135 粒子群転動試験結果

試番 15 粒子 A+B、勾配 : 60 度 細粒分含有率 0% 含水比 0%

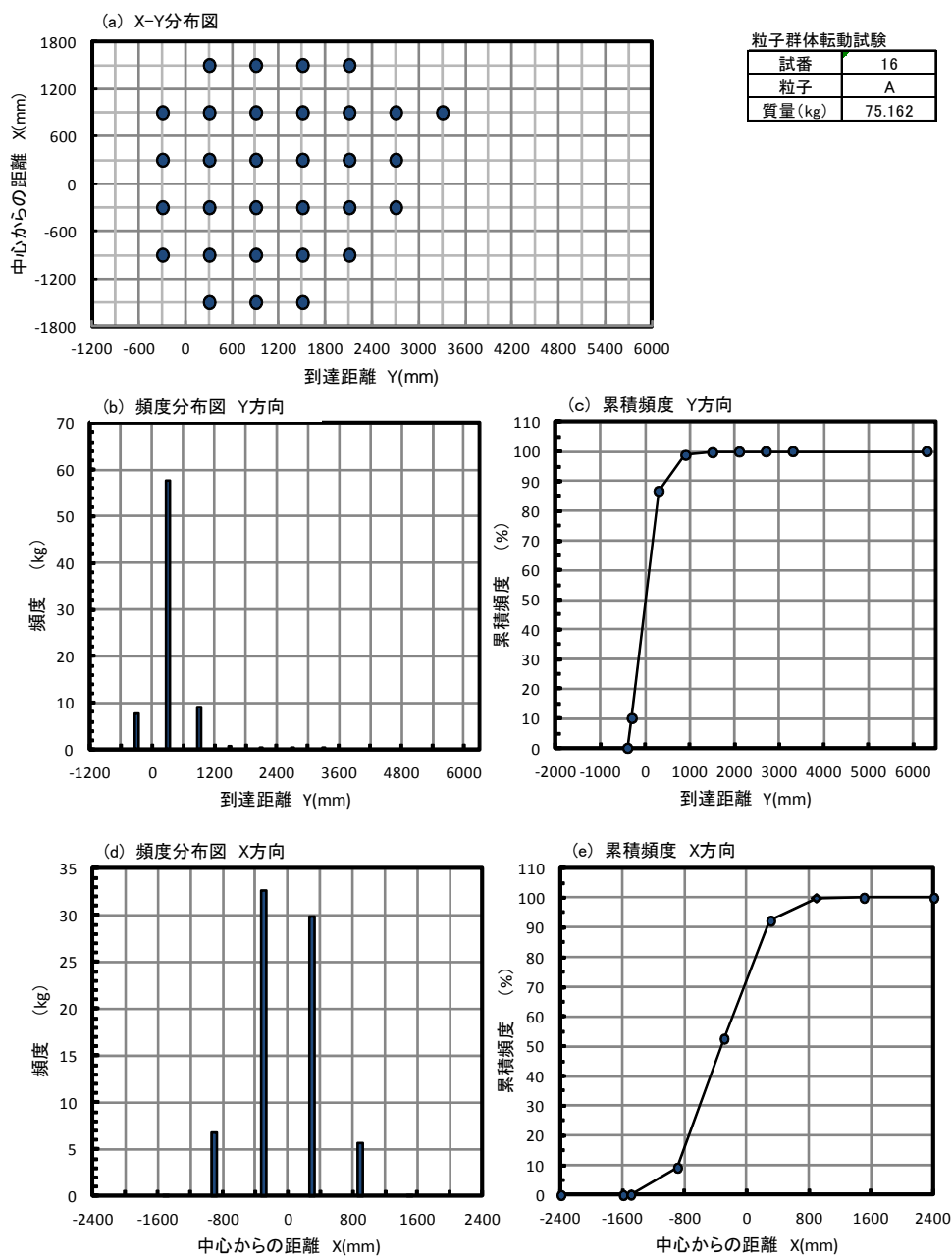


図 3. 2. 136 粒子群転動試験結果

試番 16 粒子 A、勾配：60 度 細粒分含有率 30% 含水比 20%

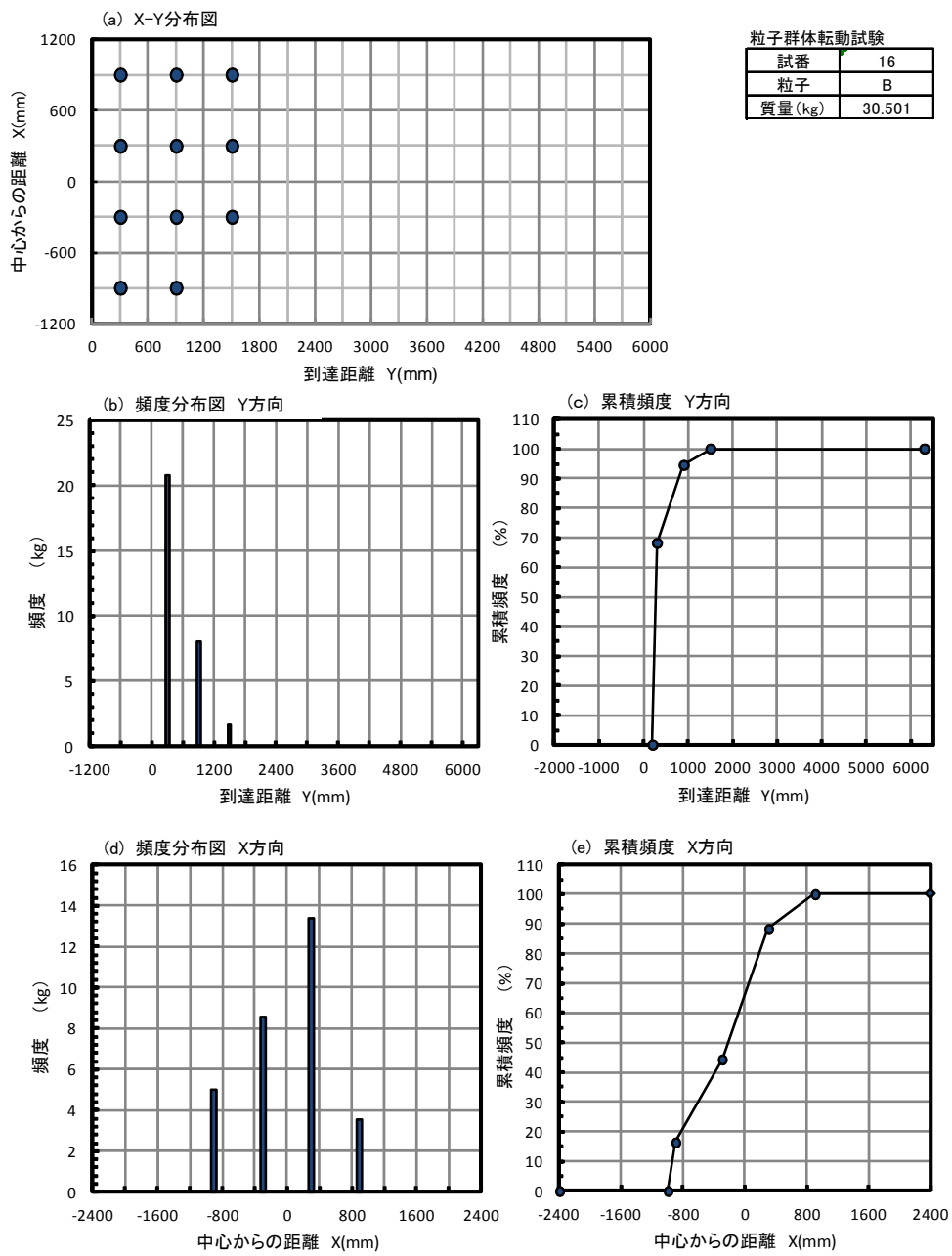


図 3.2.137 粒子群転動試験結果

試番 16 粒子 B、勾配：60 度 細粒分含有率 30% 含水比 20%

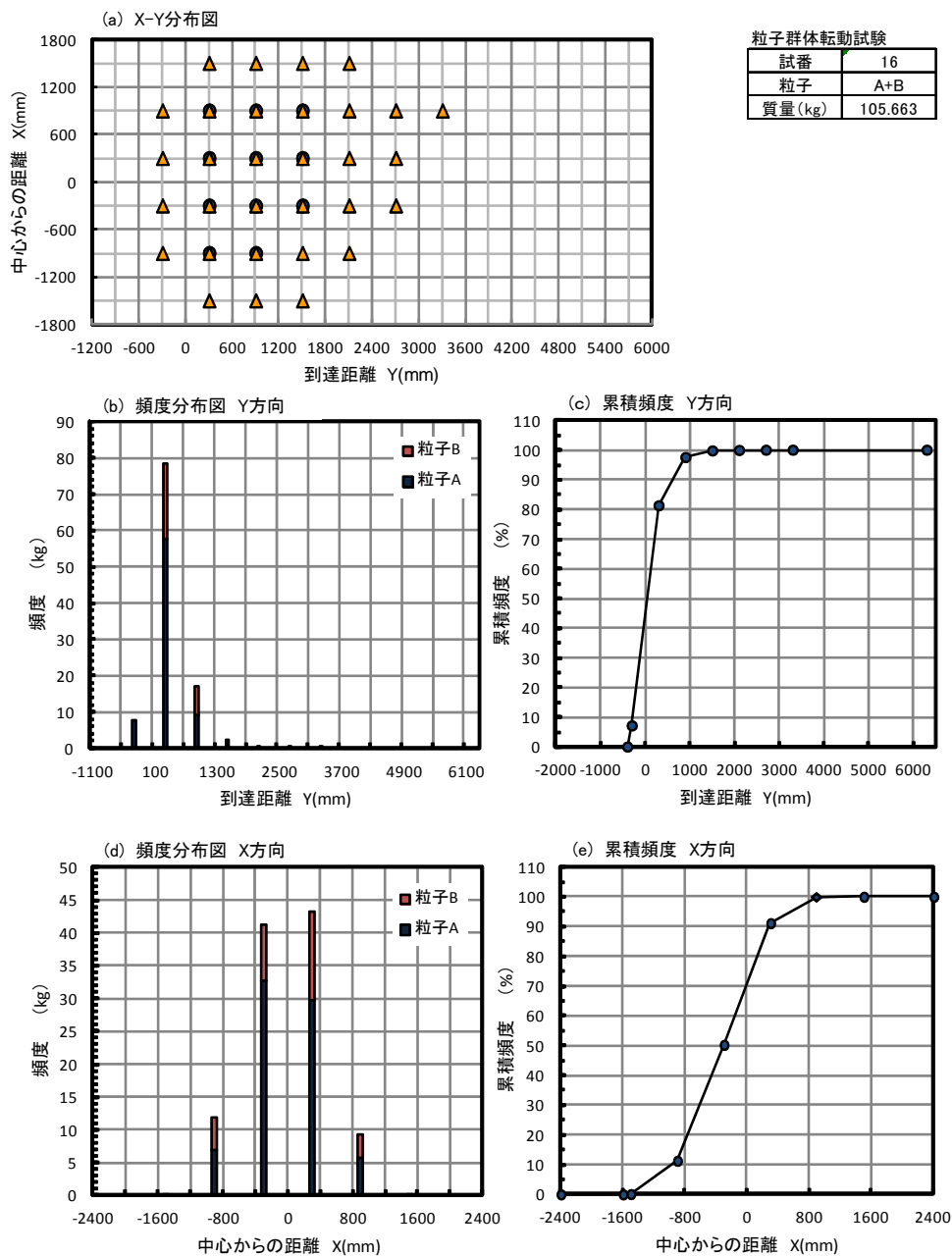


図 3.2.138 粒子群転動試験結果

試番 16 粒子 A+B、勾配：60 度 細粒分含有率 30% 含水比 0%

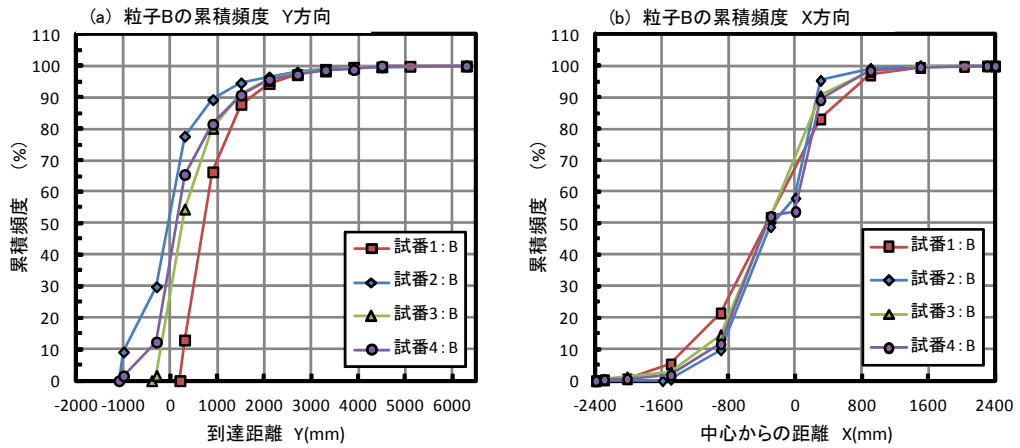


図 3. 2. 139 粒子群転動試験比較結果

試番 1~4 勾配 41° における粒子 B の細粒分含有率の違いによる累積頻度の比較

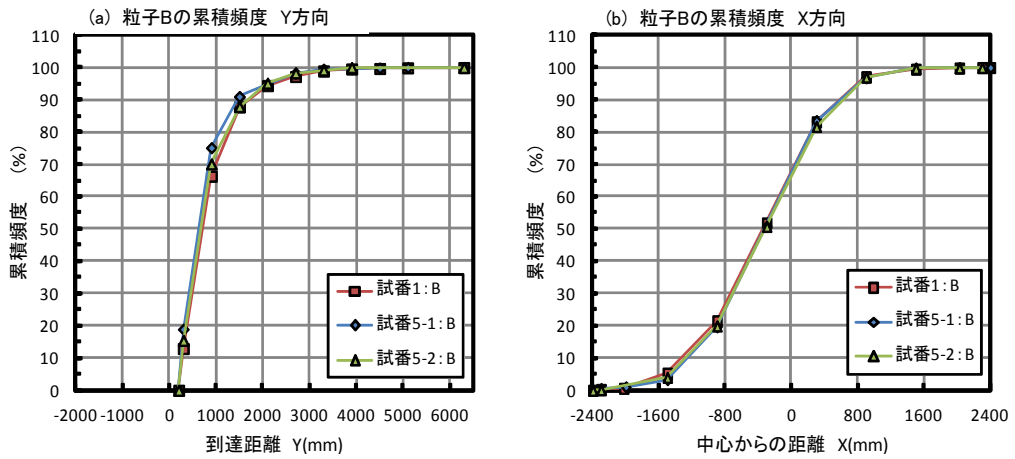


図 3. 2. 140 粒子群転動試験比較結果

試番 1, 5 勾配 41° における細粒分, 含水比無しでの粒子 B のばらつきに関する検証

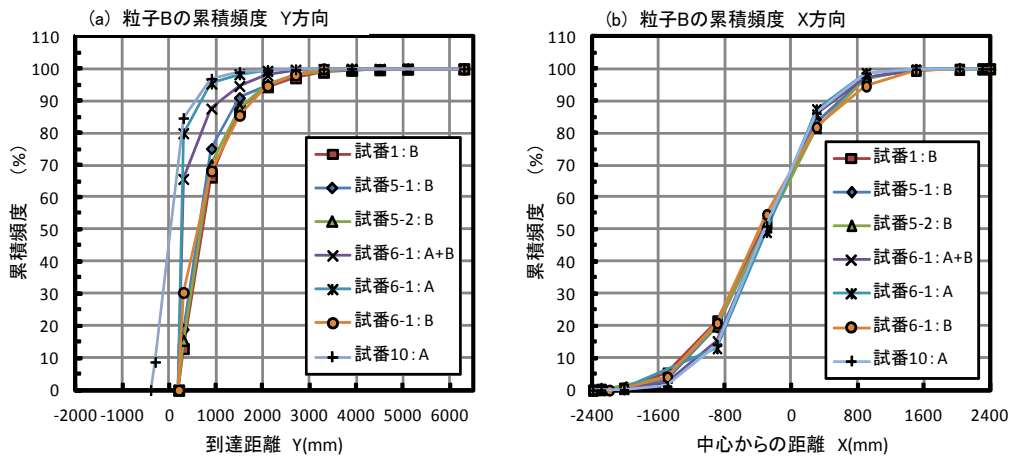


図 3. 2. 141 粒子群転動試験比較結果

試番 1, 5, 6-1, 10 勾配 41° における粒子サイズの違いによる比較



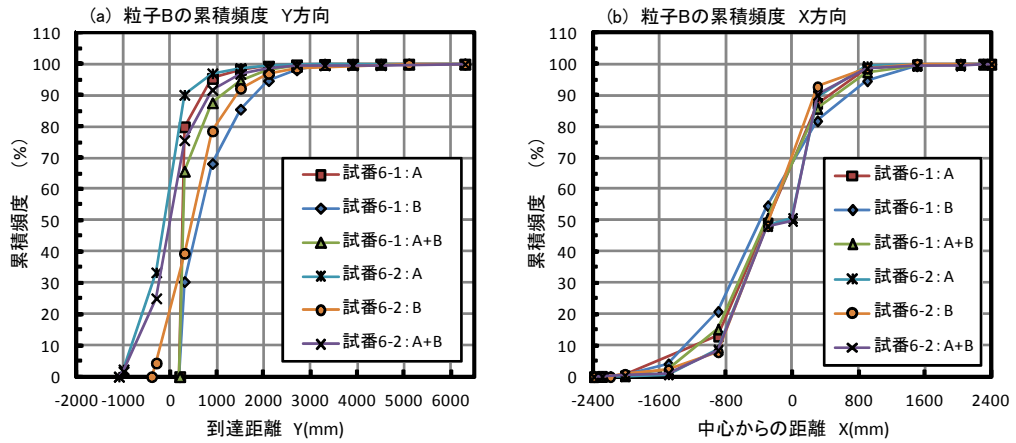


図 3. 2. 142 粒子群転動試験比較結果

試番 6-1, 6-2 勾配  $41^\circ$  での粒子 A+B における細粒分の有無による比較

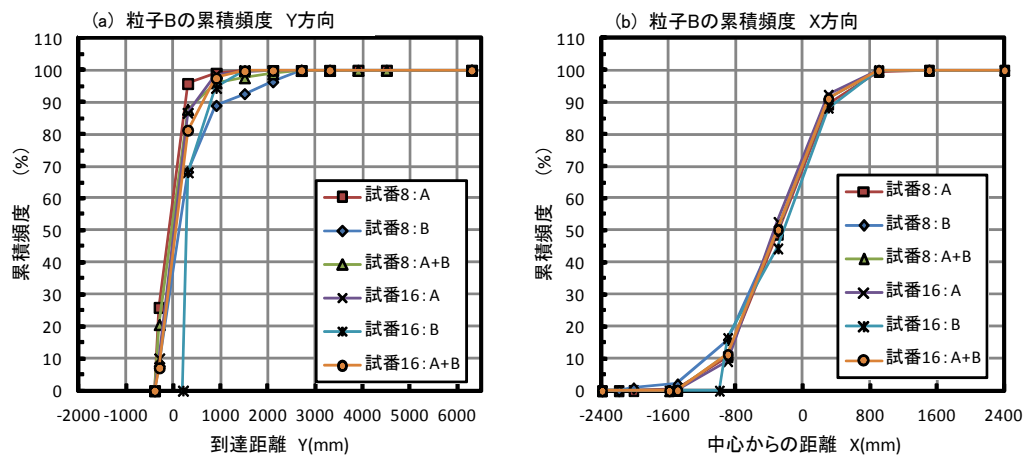


図 3. 2. 143 粒子群転動試験比較結果

試番 8, 16 粒子 A+B, 同じ細粒分含有率および同じ含水比における勾配の違いによる比較

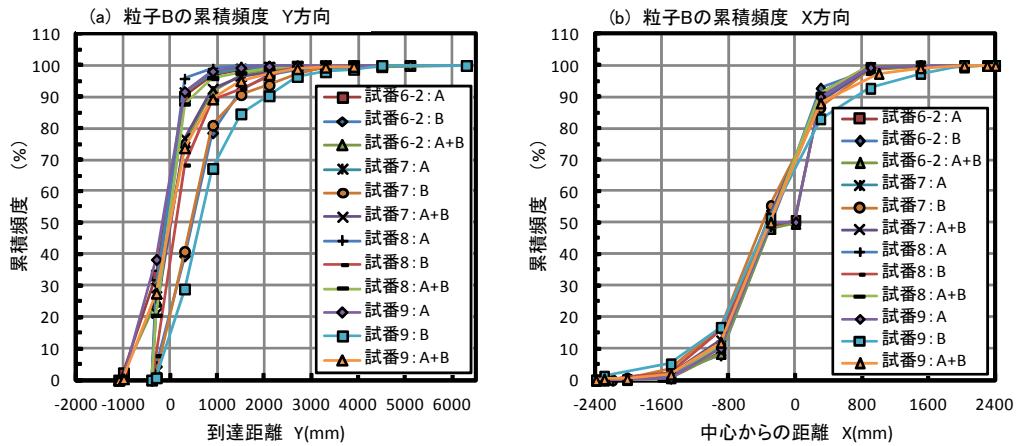


図 3. 2. 144 粒子群転動試験比較結果粒子

試験 6-2,7,8,9 勾配 41°, 粒子 A+B および同じ細粒分含有率における含水比の違いによる比較

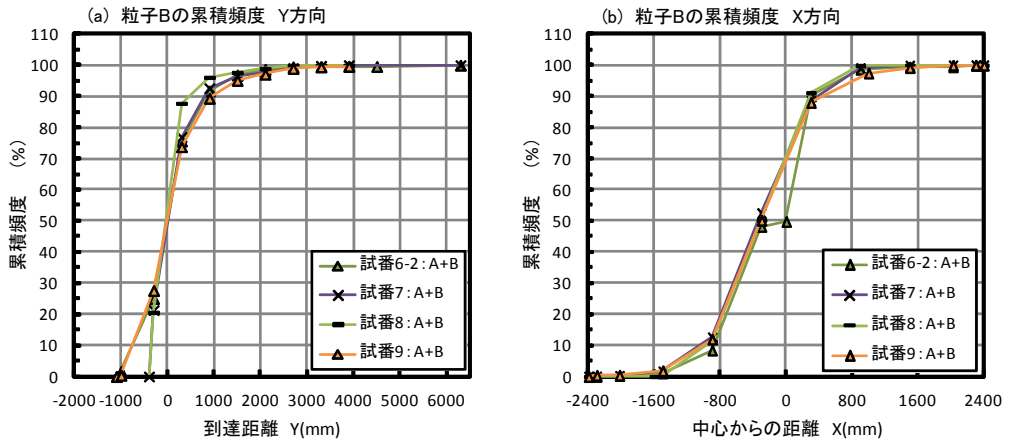


図 3. 2. 145 粒子群転動試験比較結果 (A+B による比較)

試験 6-2,7,8,9 勾配 41°, 粒子 A+B および同じ細粒分含有率における含水比の違いによる比較

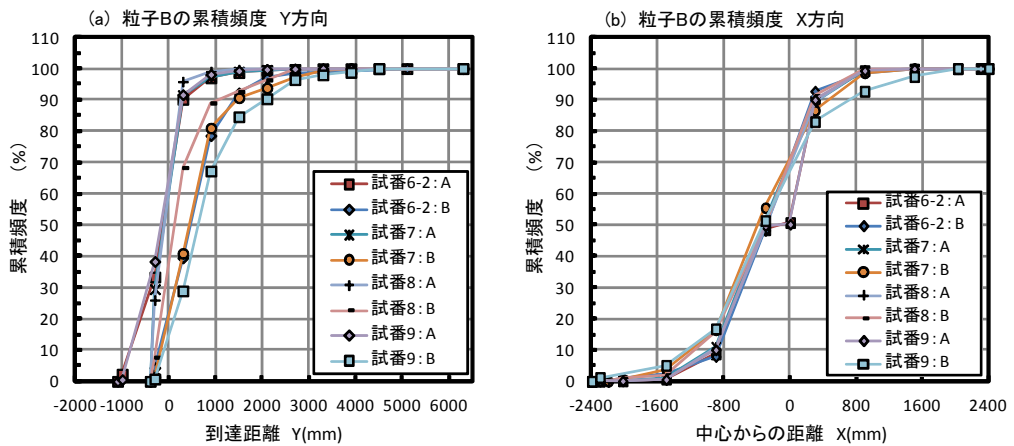


図 3. 2. 146 粒子群転動試験比較結果 (A, B 単独による比較)

試験 6-2,7,8,9 勾配 41°, 粒子 A+B および同じ細粒分含有率における含水比の違いによる比較

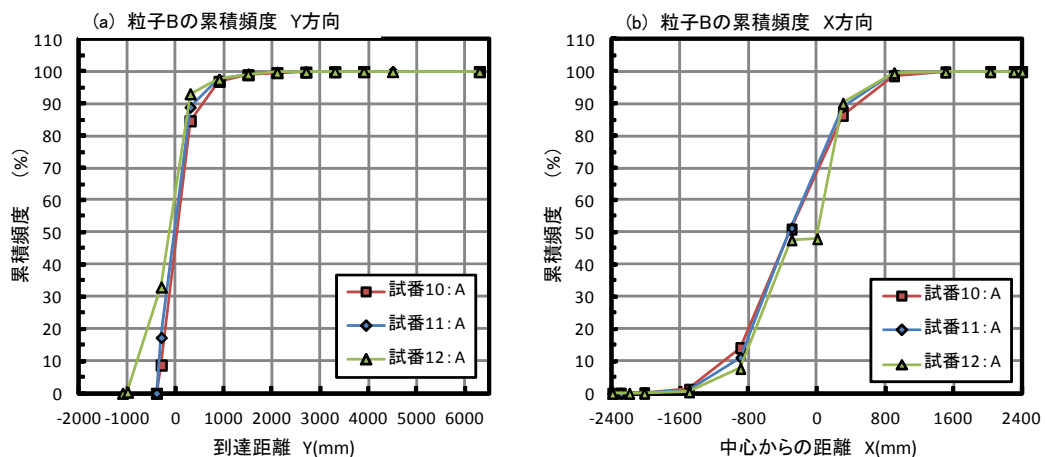


図 3. 2. 147 粒子群転動試験比較結果

試番 10, 11, 12 勾配 41° での粒子 A における細粒分含有率の違いによる比較

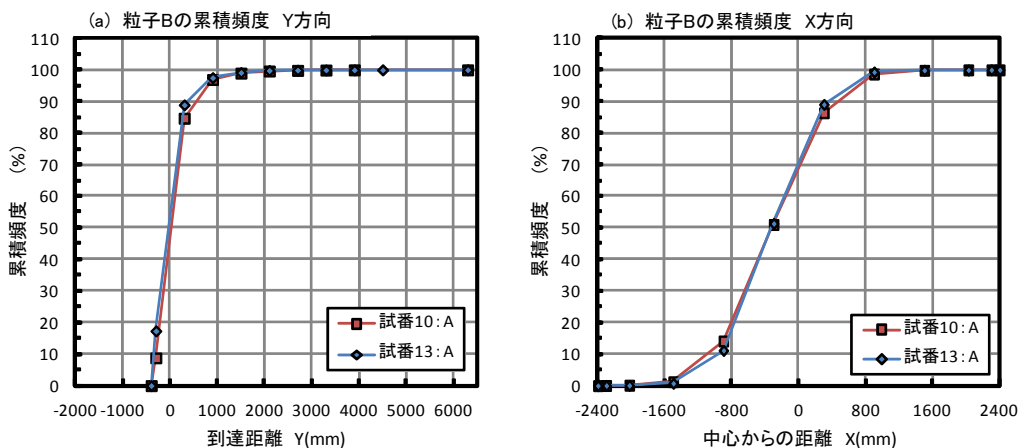


図 3. 2. 148 粒子群転動試験比較結果

試番 10, 13 粒子 A における勾配の違いによる比較

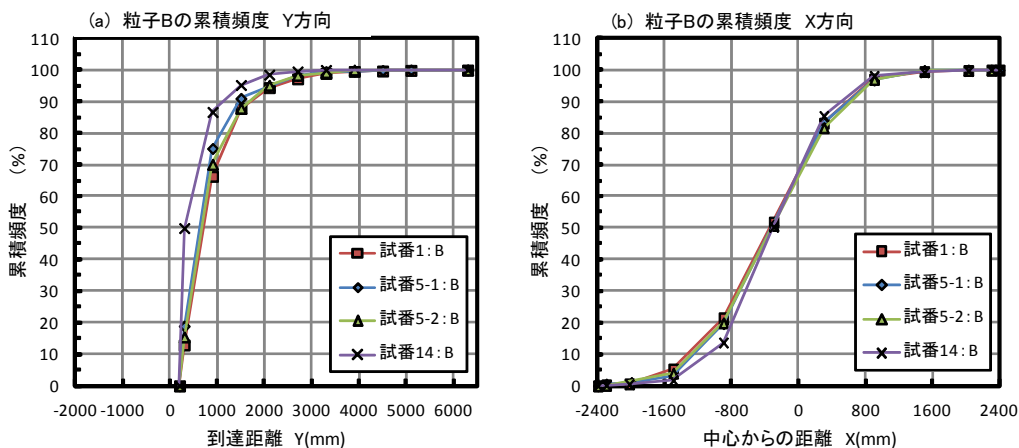


図 3. 2. 149 粒子群転動試験比較結果

試番 1, 5, 14 粒子 B における勾配の違いによる比較

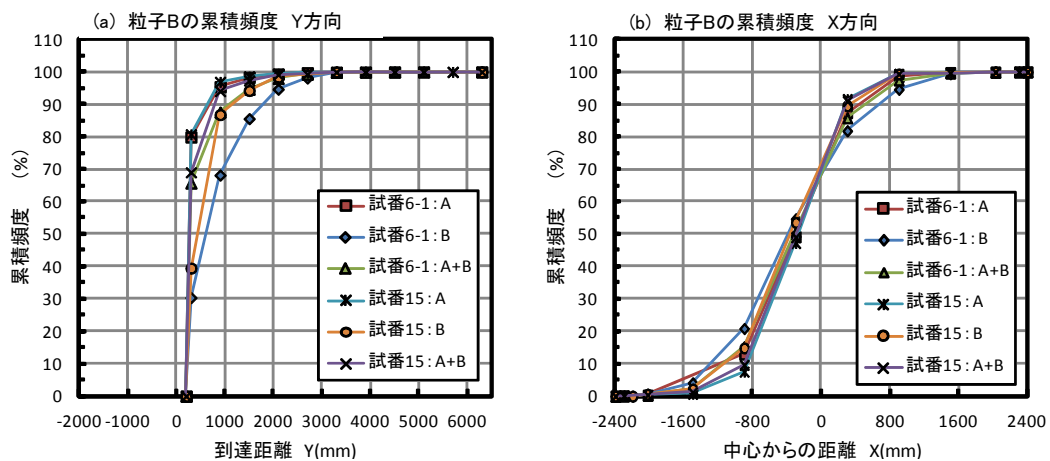


図 3. 2. 150 粒子群転動試験比較結果

試番 6-1, 15 粒子 A+B における勾配の違いによる比較

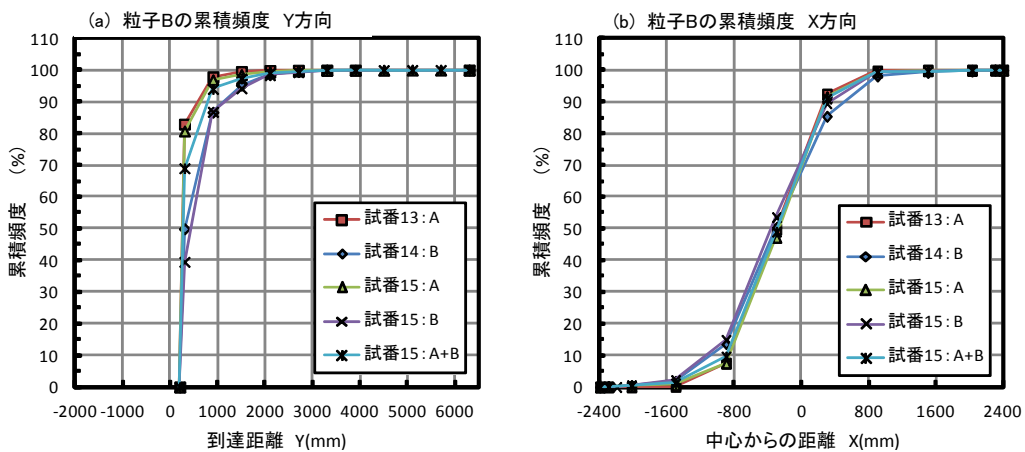


図 3. 2. 151 粒子群転動試験比較結果

試番 13, 14, 15 勾配 60° における粒子サイズの違いによる比較

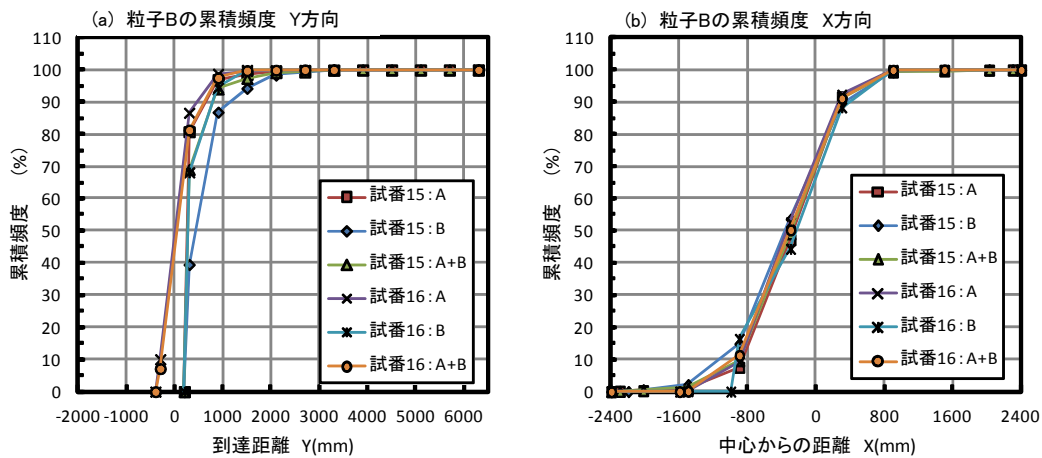


図 3. 2. 152 粒子群転動試験比較結果

試番 15, 16 勾配 60° での粒子 A+B における細粒分および水分の有無による比較

各試番における粒子群の分布状況を比較した結果、以下ことが分かった。

① 試番 1~4 勾配 41° における粒子 B の細粒分含有率の違いによる累積頻度の比較結果

(図 3. 2. 139)

- ・ 粒子群の到達距離は細粒分 0% の場合がもっとも大きく、細粒分 20% の場合が最も小さい。
- ・ 細粒分が 40%、60% の到達距離は細粒分 0% と 20% の中間程度であった。
- ・ 細粒分含有率により、粒子群の到達距離が変化するものと推察され、到達距離と細粒分含有率には何らかの関係があるものと推察される。
- ・ 細粒分を含む試番は、粒子群の一部が斜面に残る傾向を示した。
- ・ 平坦部における X 方向の粒子分布は、どの試番も同様の傾向を示した。

② 試番 1, 5 勾配 41° における細粒分, 含水比無しでの粒子 B のばらつきに関する検証結果

(図 3. 2. 140)

- ・ ばらつきほとんどなく再現性が高いことを確認した。

③ 試番 1, 5, 6-1, 10 勾配 41° における粒子サイズの違いによる比較結果 (図 3. 2. 141)

- ・ 2 種類の粒子が混じっていても、それぞれの粒子の到達距離は、粒子単独での到達距離と同様の傾向を示した。
- ・ 平坦部における X 方向の粒子分布についても、粒子単独での粒子分布と同様の傾向を示した。

④ 試番 6-1, 6-2 勾配 41° での粒子 A+B における細粒分の有無による比較結果 (図 3. 2. 142)

- ・ 細粒分がない場合は、到達距離が大きい。
- ・ 細粒分がある場合は、粒子群が斜面に堆積する。
- ・ 平坦部における X 方向の粒子分布は、両試番とも同様の傾向を示した。

⑤ 試番 8, 16 粒子 A+B, 同じ細粒分含有率および同じ含水比における勾配の違いによる比較

(図 3. 2. 143)

- ・ 勾配の違いによる大きな差異は見られなかった。
- ・ 平坦部における X 方向の粒子分布は、両試番とも同様の傾向を示した。

⑥ 試番 6-2, 7, 8, 9 勾配 41° , 粒子 A+B および同じ細粒分含有率における含水比の違いによる比較 (図 3. 2. 144~図 3. 2. 146)

- ・ 粒子群の到達距離は、細粒分 0%、16%、28%の場合は同じ程度の距離で、細粒分 20%より大きい。
- ・ 細粒分と水が混じることにより、粒子が捕捉される程度が変化し、それにより到達距離が変化するのではないかと考えられる。つまり、到達距離が大きくなる場合の細粒分と水分の混合比や小さくなる場合の混合比があるのではないかと推察する。
- ・ 平坦部における X 方向の粒子分布は、各試番とも同様の傾向を示した。

⑦ 試番 10, 11, 12 勾配 41° での粒子 A における細粒分含有率の違いによる比較 (図 3. 2. 147)

- ・ 粒子 B に比べて細粒分含有率の違いによる大きな差異は見られなかった。
- ・ 細粒分含有率が最も大きい試番 12 の場合が、斜面上に粒子群が最も多く堆積していた。
- ・ 平坦部における X 方向の粒子分布は、各試番とも同様の傾向を示した。

⑧ 試番 10, 13 粒子 A における勾配の違いによる比較 (図 3. 2. 148)

- ・ 勾配の違いによる大きな差異は見られなかった。
- ・ 平坦部における X 方向の粒子分布は、両試番とも同様の傾向を示した。

⑨ 試番 1, 5, 14 粒子 B における勾配の違いによる比較 (図 3. 2. 149)

- ・ 粒子 A とは異なり、勾配が大きいと、到達距離が小さくなる傾向を示した。
- ・ 平坦部における X 方向の粒子分布は、両試番とも同様の傾向を示した。

⑩ 試番 6-1, 15 粒子 A+B における勾配の違いによる比較 (図 3. 2. 150)

- ・ 勾配が大きいと、粒子 A には大きな差異は無いが、粒子 B は到達距離が小さくなる傾向を示した。この傾向は、粒子 A のみの試番 10, 13, 粒子 B のみの試番 1, 5, 14 と同様である。つまり、粒子群に 2 種類の粒子サイズが混ざっていても、斜面を転がっている間に、それぞれの粒子が分裂し、粒子サイズが混在している影響が低くなるのではないかと推察される。
- ・ 平坦部における X 方向の粒子分布は、両試番とも同様の傾向を示した。

⑪ 試番 13, 14, 15 勾配 60° における粒子サイズの違いによる比較 (図 3. 2. 151)

- ・ 粒子群に 2 種類の粒子サイズが混ざっていても、粒子 A の到達距離は粒子 A のみの試番 13, 粒子 B の到達距離は粒子 B のみの試番 14 と同様の傾向を示した。つまり、粒子群に 2 種類の粒子サイズが混ざっていても、斜面を転がっている間に、それぞれの粒子が分裂し、粒子サイズが混在している影響が低くなるのではないかと推察される。
- ・ 平坦部における X 方向の粒子分布は、各試番とも同様の傾向を示した。

⑫ 番 15, 16 勾配 60° での粒子 A+B における細粒分および水分の有無による比較 (図 3. 2. 152)

- ・ 細粒分がない場合は、到達距離が大きい。
- ・ 勾配が大きくなったことにより細粒分がある場合でも、粒子群が斜面に堆積していなかった。
- ・ 平坦部における X 方向の粒子分布は、両試番とも同様の傾向を示した。