

NR A 技術報告における津波の持続波圧評価式の再検討 — 令和2年度第40回原子力規制委員会指摘事項への対応等 —

令和3年7月21日
原子力規制庁

1. 経緯

原子力規制庁は、平成26年から平成28年にかけて、津波波圧評価に係る3編のNR A 技術報告^{1,2,3}を公表した。

「令和2年度第40回原子力規制委員会（令和2年11月25日）」（以下「第40回原子力規制委員会」という。）において、原子力規制庁は、津波波圧の評価手法を審査で確認する観点から、NR A 技術報告を基に「津波波圧評価に係る確認事項（案）」（以下「波圧確認事項」という。）を作成したことを報告した。また、この波圧確認事項を「耐津波設計に係る工認審査ガイド」の別添として反映する作業を実施することが了承された。（【参考】参照）

その際、「最大比エネルギー発生時刻におけるフルード数(Fr_E)⁴と水深係数(α_E)の関係に基づく持続波圧評価式」（以下「持続波圧評価式」という。）に関し、水理試験結果⁵のばらつきの要因及び持続波圧評価式の保守性の考え方について質疑があり、規制庁より説明するよう指摘を受けた。

2. 水理試験結果のばらつきの要因

水理試験結果のばらつきの要因について改めて検討を行った。その結果、ばらつきの要因は、波圧計測結果の処理において水深係数(α_E)を保守的に見積もっていること及びフルード数(Fr_E)が大きい領域において流れの乱れが強くなることで作用波圧が低下する可能性があることの両者に起因していると分析した。（【別添1】参照）

3. 持続波圧評価式の再検討

（1）第40回原子力規制委員会で提案した持続波圧評価式

第40回原子力規制委員会では、以下の持続波圧評価式を提案した。

-
- 1 原子力規制委員会、NR A 技術報告、防潮堤に作用する津波波圧評価に用いる水深係数の適用範囲について、NTEC-2014-4001、平成26年12月
 - 2 原子力規制委員会、NR A 技術報告、防潮堤に作用する津波段波の影響について、NTEC-2015-4001、平成27年10月
 - 3 原子力規制委員会、NR A 技術報告、防潮堤に作用する津波波圧評価に用いる水深係数について、NTEC-2016-4001、平成28年12月
 - 4 流体の慣性力（勢い）と重力との比を表す無次元数で、流体の性状を示す指標の一つ。
 - 5 水理試験は、津波の海上伝播及び陸上の遡上を模擬する水路を用い、造波装置により津波を模擬した作用波を発生させた。通過波検定試験では、浸水深及び流速の計測結果を収集した。波圧試験では、水路の陸上の遡上部に設置した防潮堤試験体に作用する波圧の計測結果を収集した。

$$\alpha_E = 1.90 \times (0.50 \times Fr_E^2 + 1) \quad \dots \dots \dots \text{式 (1)}$$

この持続波圧評価式の設定においては、フルード数 (Fr) 1 以下では、水深係数 (α) に国土交通省の暫定指針⁶の水深係数 3 を適用することとした。

また、フルード数 (Fr) 1 以上では、フルード数 (Fr) 1 以下との連続性を考慮するとともに、水理試験結果のばらつきを包絡させる方針とした。この方針に基づき、水理試験結果のばらつきを対数正規分布として取り扱い、対数標準偏差 +2 σ 及び +3 σ を考慮した式を検討したうえで、+3 σ を考慮した式が方針に合致すると考えた (図-1 参照)。

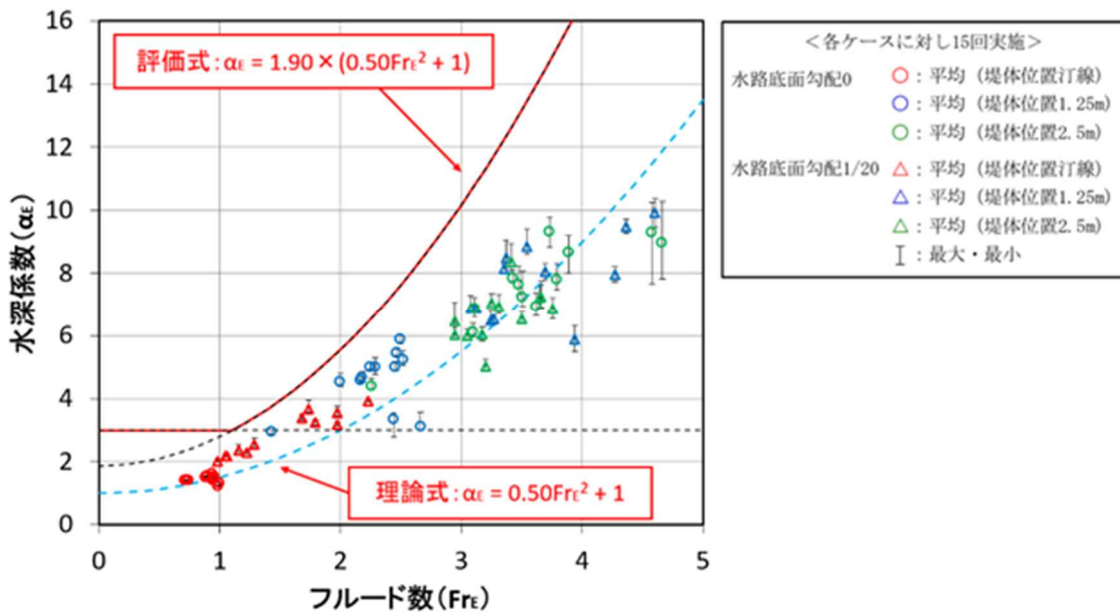


図-1 最大比エネルギー発生時刻におけるフルード数 (Fr_E) と水深係数 (α_E) の関係に基づく持続波圧評価式

(2) 持続波圧評価式の再検討

上記(1)の持続波圧評価式は水理試験結果のばらつきを対数正規分布として取り扱ったが、その保守性の考え方を整理している過程において、本来は正規分布として取り扱う必要があったことが分かった。このため、式(1)に代えて、以下に示す持続波圧評価式を改めて設定した。

$$\alpha_E = 3.0 \quad (Fr_E \leq 1.24^7) \quad \dots \dots \dots \text{式 (2)}$$

$$\alpha_E = (0.70 \times Fr_E^2 + 1) + 0.93 \quad (Fr_E > 1.24) \quad \dots \dots \dots \text{式 (3)}$$

6 国土交通省、東日本大震災における津波による建築物被害を踏まえた津波避難ビル等の構造上の要件に係る暫定指針、平成 23 年 11 月 17 日

7 フルード数 (Fr_E) 1.24 は $\alpha_E = 3.0$ と $\alpha_E = (0.70 \times Fr_E^2 + 1) + 0.93$ の交点の値を示す。

式(2)は、国交省の暫定指針の水深係数3の適用について、水理試験結果を包絡する範囲で拡張したものである。

式(3)は、フルード数(Fr_E)0~2.5までの水理試験結果のばらつきを包絡することを基本に、フルード数(Fr_E)0~2.5までの水理試験結果を対象とした回帰式⁸に対し標準偏差+2 σ を考慮した。この結果、全水理試験結果のばらつきをほぼ包絡している。

なお、フルード数(Fr_E)0~2.5までの水理試験結果を対象としたのは、実プラントでのフルード数(Fr_E)の実績及びその他の影響等を考慮したことによる。
 (【別添2】参照)

第40回原子力規制委員会での提案と今回設定した持続波圧評価式の比較を以下に示す(図-2参照)。

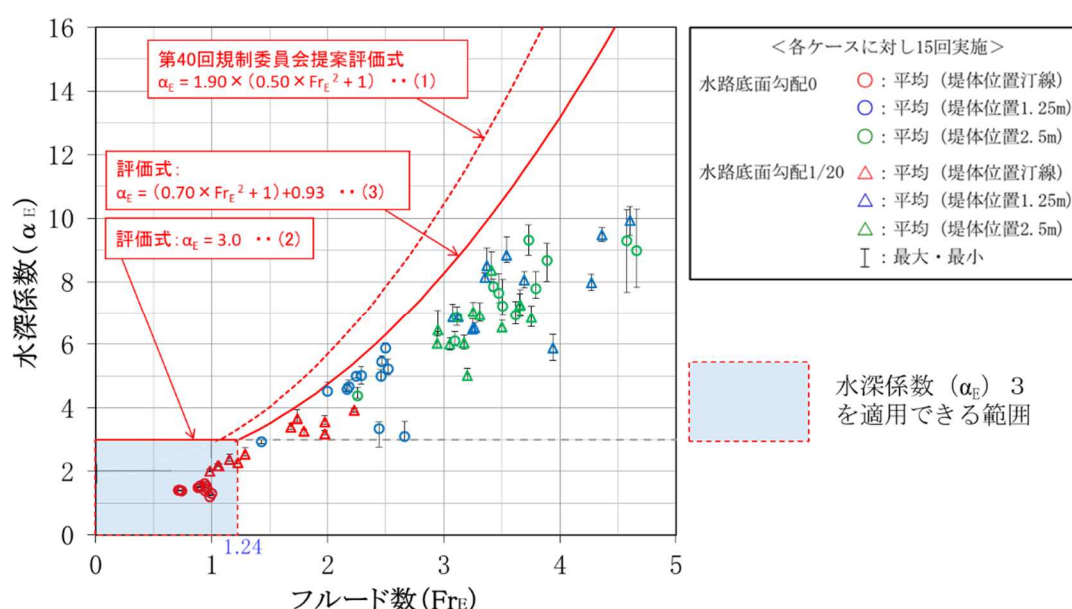


図-2 第40回原子力規制委員会での提案と今回設定した持続波圧評価式の関係

4. 今後の進め方

NRA 技術報告³では、第40回原子力規制委員会での提案した持続波圧評価式を評価式導出例として記載しており、今回改めて策定した持続波圧評価式を反映のうえ改訂することとしたい。

「耐津波設計に係る工認審査ガイド」の別添となる波圧確認事項に、今回改めて策定した持続波圧評価式を反映のうえ、今後「耐津波設計に係る工認審査ガイド」の改訂案を原子力規制委員会に諮ることとしたい。

⁸ $\alpha_E = 0.70 \times Fr_E^2 + 1$: フルード数(Fr_E)0~2.5までの水理試験結果から導出した。

<別紙、別添、参考>

別添 1 水理試験結果のばらつきの要因

別添 2 持続波圧評価式の再検討

参考 防潮堤等に作用する津波波圧評価に係る安全研究成果の審査ガイドへの反映について、令和 2 年度 第 40 回 原子力規制委員会 資料 3、令和 2 年 11 月 25 日