

陸上構造物の耐津波性能評価

高松港湾空港技術調査事務所

調査課 柳澤 宗

1. はじめに

東南海・南海地震など海溝型地震では大規模な海底変動が起こることで太平洋沿岸に巨大津波の発生が予想されます。そのような津波による浸水被害には、単に浸水深を評価するだけでなく、陸上構造物の変形・破壊を含めた被害想定を行うことが重要です。

(津波によって想定される被害)

- ① 津波の波力による被害
 - a) 海岸線近くの構造物の局所的・全体的なせん断破壊や曲げ破壊
 - b) 床や道路などの揚圧力による破壊
- ② 流れによる被害
 - a) 海岸線の近くなど、引き波時に生じると考えられる洗掘被害
 - b) 定常流のように流れているときに生じる構造物・人などの漂流被害
- ③ 漂流物による被害
 - a) 漂流物が衝突することによって生じる被害
 - b) 油などの流出による火災の拡大被害

これらの被害メカニズムを明らかにし対策をとることが急務ですが、そのような評価手法は確立されておられません。そこで想定される被害の中でも「① a)」について注目し、津波力に対する構造物の性能評価手法の確立を目指した本調査について紹介します。

2. 津波の定義

2. 1 津波の高さ

津波の高さは、図-1のように定義されます。

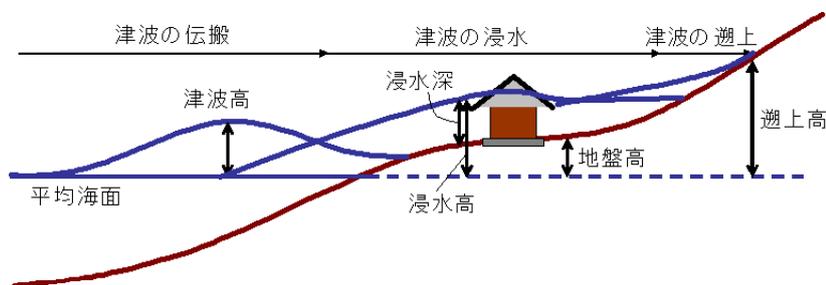


図-1 津波の高さの定義

2. 2 津波波圧の定義

津波波圧は、図-2のように時間的に変化します。まず、津波先端部の砕波等によって変形することによって生じる段波波圧、次に入射波の連続的な到達により著しい水位上昇が発生する際に生じる重複波圧となります。それぞれの最大値を衝撃段波波圧、最大重複波圧といいます。

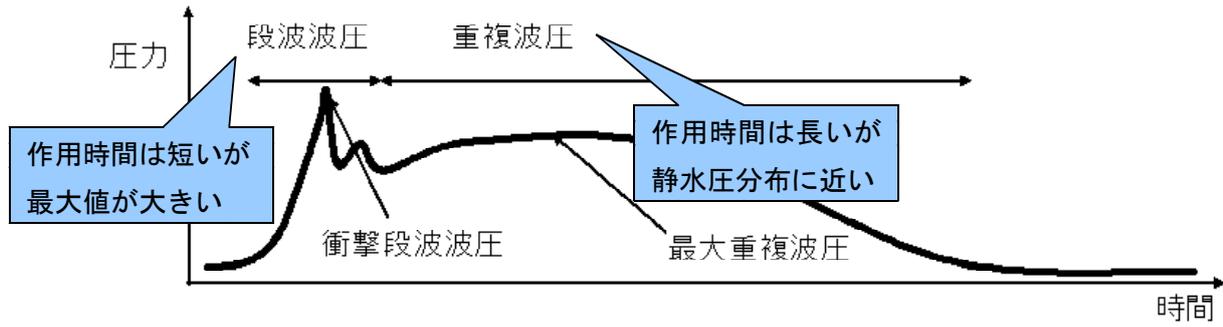


図-2 遡上津波波圧の定義

2. 3 津波波力の特徴

一般的に津波波力の特徴は津波の侵入速度ならびに、津波の波形によって分類され、越流タイプは侵入速度がゆっくりしたパターン、段波タイプは侵入速度が速いパターン、砕波タイプは構造物の目の前で砕波するパターンで、同じ津波高さ（浸水高）であれば、津波の力は、越流タイプ< 段波タイプ< 砕波タイプとなります。（図-3）

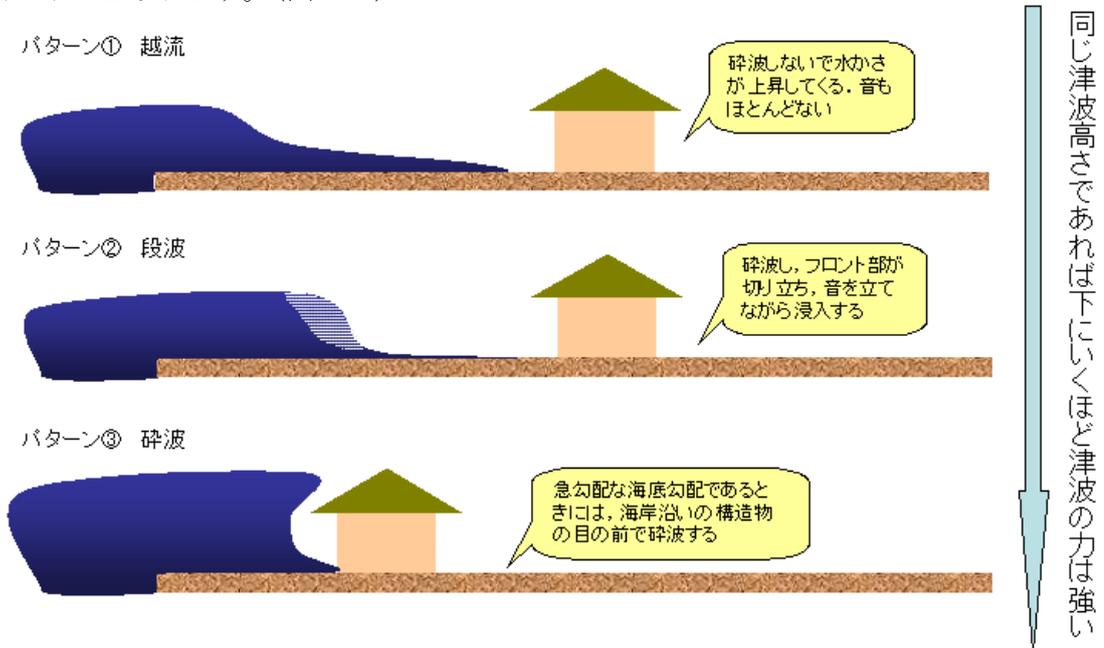


図-3 津波力の特徴

3. 津波力の検討

陸上構造物に作用する津波力を検証するために護岸を想定して実験を行いました。

3. 1 最大重複波圧

図-4は無次元最大重複波圧と Froude 数の関係を示しています。これを見ると最大重複波圧は Froude 数と関係があることが分かります。遡上域においては津波力は浸水深に依存すると言われています。しかし、この結果は流速（正確には Froude 数）にも依存することを示しており、単に浸水深の定数倍で重複津波力を評価することが危険であることを示しています。つまり、Froude 数が非常に大きな津波が生じる場合（陸上部が下り勾配になっている場合など）にはこれまで考えられている以上に大きな津波力が発生する可能性があることが分かりました。

3. 2 衝撃段波波圧

最大重複波圧同様、Froude 数の関係を見たのが図-5です。衝撃段波波圧の値に関わらず Froude

数は 1.3 ～ 1.5 程度に収まっています。Froude 数と衝撃段波波圧の大きさには関係がないものの、少なくとも射流 (Froude 数 ≥ 1) でないと衝撃段波波圧が生じないことが分かります。また、この実験ケースでは構造物の前面近くで碎波しており、これは衝撃段波波圧の予測には水面勾配、つまり波面の傾き等、波面の形状の再現が衝撃段波波圧の予測には重要であることを示唆しており、陸上遡上部の衝撃津波波圧を予測するには長波成分だけでなく、波長の短い成分の予測も必要ということが分かります。また、衝撃津波波圧の作用時間は短いため、構造物の固有周期により構造物に及ぼす影響が変化する可能性があります。

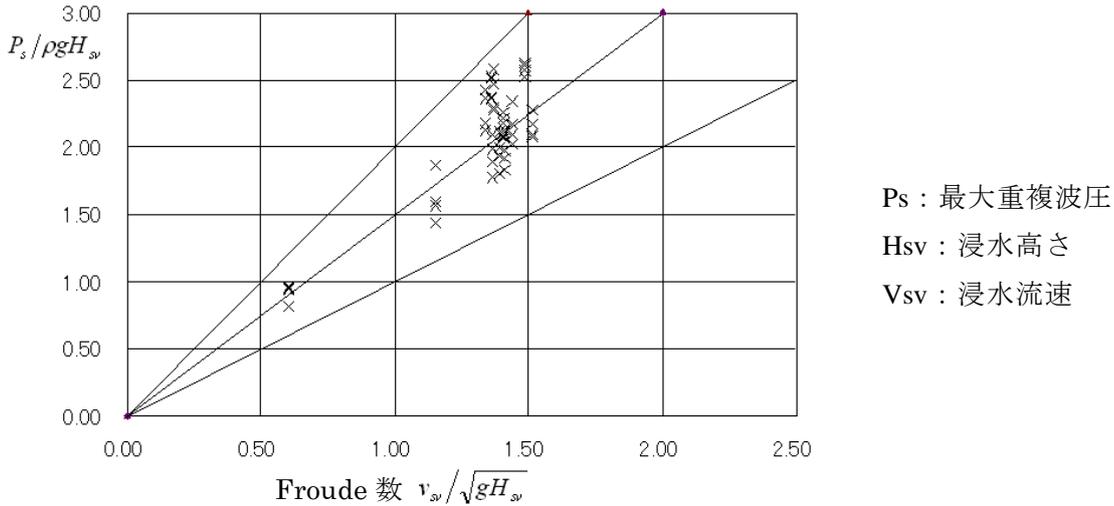


図-4 無次元最大重複波圧と Froude 数の関係

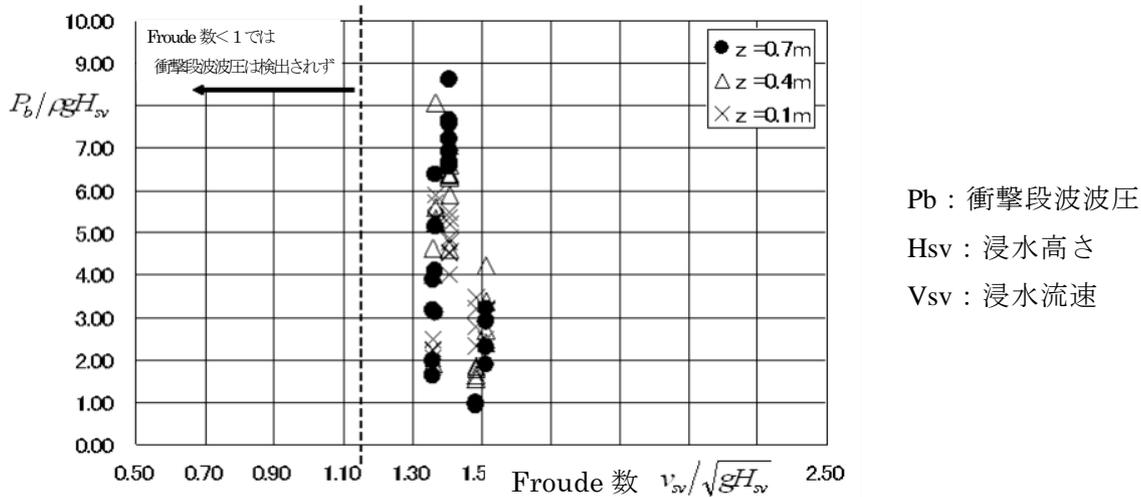


図-5 無次元衝撃段波波圧と Froude 数の関係

4. 津波力に対する構造物の動的応答に関する検討

津波力に対する構造物の応答を調べるために図-6のような模型を用いて実験を行いました。Froude 数は 1.12 程度であり、津波は構造物前面で碎波しています。

図-7 (左) に模型に作用した波圧の最大値を示しています。これを見ると、最大重複波圧に関しては水深に比例しているものの、衝撃段波波圧は局所的 (浸水高さのやや上) に非常に大きな値を示しています。これは構造物前面で碎波していることが起因しています。

また、中央の非常に大きな値を示した場所に作用した波圧とひずみの時系列 (図-7 : 右) を見るとひずみは衝撃的な応力に反応しており、構造物の津波に対する評価を行う際には衝撃的な波圧も設

計で考慮しなければならないことが分かります。但し、別途行ったコンクリート版に対する応答実験（図-8）では衝撃段波波圧にひずみは反応しておらず、構造物によって違いがあるようです。



図-6 実験の様子（左：津波が作用する前、右：津波作用後）

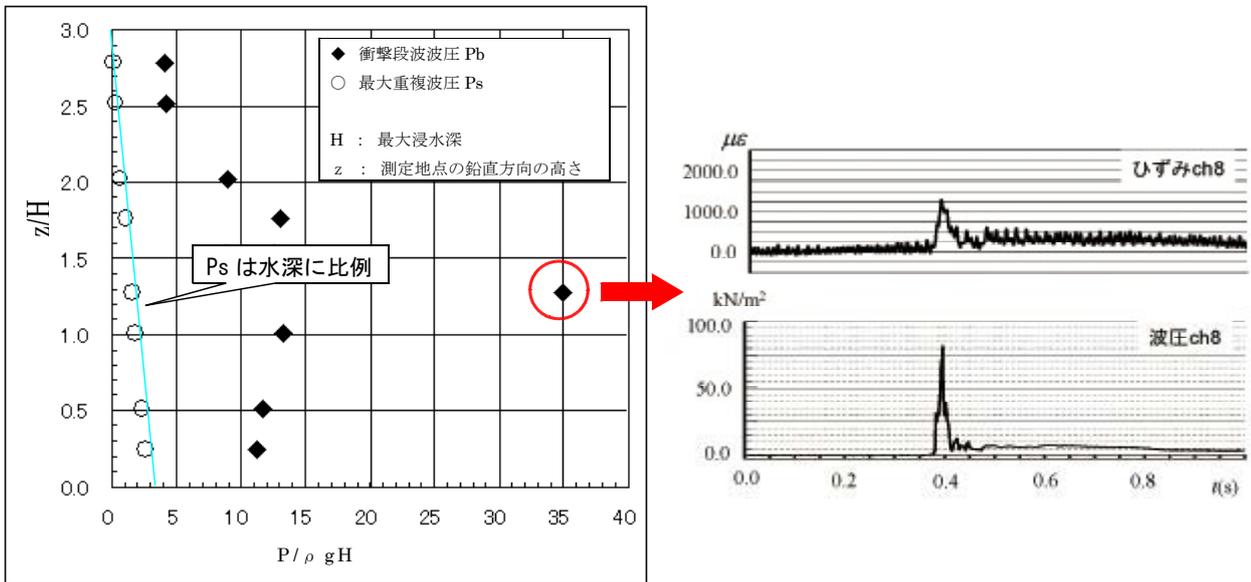


図-7 作用した津波の波圧の最大値（左）、波圧・ひずみの測定値（右）

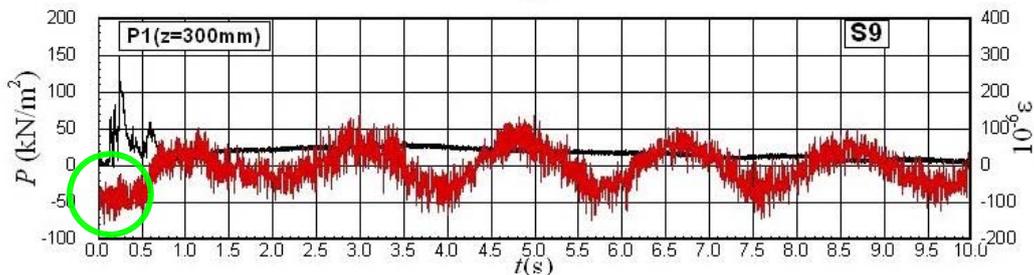


図-8 コンクリート版に対する津波力とひずみの時系列

5. 今後の展開

構造物の破壊及び安定検討の際には構造物による違いはあるものの、衝撃段波波圧を考慮する必要があることが分かりました。また、衝撃段波波圧の立ち上がり時間と構造物の動的応答の関係を調べるにより、その動的応答特性を利用して例えば地震時は壁で持たせておき、津波作用時にはあえてその壁面が壊れるようにすることによって建物の損傷を軽減するといったことも可能ではないかと考えられます。今後は構造物の変形破壊実験など、より詳細な実験を行って陸上構造物の津波に対する評価手法の確立を目指していきます。