

建築物等の前面における 津波のせき上げ高の評価手法について（案）

1. 津波防災地域づくりにおける位置づけ

都道府県知事は、国土交通大臣が定める津波防災地域づくりの推進に関する基本的な指針（以下「基本指針」という。）に基づき、かつ、津波浸水想定を踏まえ、津波による人的災害を防止するために警戒避難体制を特に整備すべき土地の区域を、津波災害警戒区域（以下「警戒区域」という。）として指定することができる。

同様に、警戒区域のうち、津波が発生した場合には建築物が損壊し、又は浸水し、住民等の生命又は身体に著しい危害が生ずるおそれがあると認められる土地の区域で、一定の開発行為及び一定の建築物の建築又は用途の変更の制限をすべき土地の区域を、津波災害特別警戒区域（以下「特別警戒区域」という。）として指定することができる。

これら警戒区域又は特別警戒区域の指定は、当該指定の区域のほか、基準水位（津波浸水想定に定める水深に係る水位に建築物等に衝突する津波の水位の上昇（以下「せき上げ」という。）を考慮して必要と認められる値を加えて定める水位）を明らかにするものとし、あらかじめ関係市町村長の意見を聴くほか、当該指定の区域及び基準水位を公示することとしている。

市町村長は、この基準水位を活用し、警戒区域内の施設で、基準水位以上の高さに避難上有効な屋上等が配置されていること等の一定の基準に適合するものを指定避難施設として指定することができる。

また、特別警戒区域内の特定建築（社会福祉施設、学校及び医療施設等）については、津波に対して安全な構造のものとして技術基準に適合し、かつ、建築物の居室の床の高さが基準水位以上であるものを許可することとしている。

したがって、これらのためには、建築物等の前面において津波がどの

程度の高さまでせき上げするか科学的に評価する手法を提示することが必要となる。

2. 津波のせき上げと津波の流況との関係について

津波のせき上げの現象は、その地点で津波が有するエネルギーに起因すると考えられることから、津波浸水シミュレーションを用いて津波の流況を再現し、それを基に津波のせき上げ高を評価する手法を検討することとした。

まず、表2-1に示す地区を対象に、参考資料2-1のように4種類の形状の仮想建築物を配置し、非線形長波方程式に基づく平面2次元モデルによる津波浸水シミュレーションを実施した。そして、それら仮想建築物の海側隣接の計算格子における最大浸水深 h_{fmax} を算出した。

次に、同様の地区を対象に、同様のモデルで仮想建築物を配置しない場合の同地点における最大浸水深 h_{bmax} を算出するとともに、併せて、フルード数 F_r を求めた。

h_{bmax} と h_{fmax}/h_{bmax} 及び F_r と h_{fmax}/h_{bmax} との関係を参考資料2-2に示す。

F_r と h_{fmax}/h_{bmax} との関係については、比エネルギーで表現できると考えられることから、式2-1を仮定し、津波浸水シミュレーションの結果を基に、 ζ に1.0を採用することとした（参考資料2-2）。また、 F_r については、現象を適切に表現できることから、比エネルギー（地盤を基準面としたときのエネルギーを水頭で表したもの）が最大となる時点のものを採用することとした（参考資料2-2）。

$$\frac{h_{fmax}}{h_{bmax}} = 1 + \zeta \frac{F_r^2}{2} \quad (\text{式2-1})$$

以上により、式2-1を用いることで、任意地点の h_{bmax} と F_r から、 h_{fmax} を算定できることとなる。

ただし、遡上した津波のエネルギーが集中するような形状や配置となっている建築物等においては、同式による h_{fmax} より大きくなる場合があることに留意することとする。

なお、式2-1については、既往の屋内実験による研究成果（朝倉ら

(2000)) を参照し、水平波圧指標（静水圧の高さに対する比）とフルード数（最大浸水深と最大流速とから算出したもの）との関係図に重ね合わせ、フルード数が1程度以下の領域では、両者の特性が同様の傾向を示すことを確認した（参考資料2-3）。

表2-1 津波浸水シミュレーションの対象地区

平野部	リアス部
仙台市 宮城県亘理町 福島県いわき市	岩手県野田村 岩手県大船渡市（越喜来地区） 岩手県大槌町 岩手県陸前高田市

3. 具体的な運用の流れについて

都道府県知事が津波浸水想定を設定するために津波浸水シミュレーションを実施する際、計算格子毎に $h_{bmax} (1 + Fr^2/2)$ （比エネルギー）を予め求めておくこととする。

この際、 Fr は比エネルギー（地盤を基準面としたときのエネルギーを水頭で表したもの）が最大となる時点のものとし、水深が浅いことにより瞬時的又は局所的に大きい流速となるような計算結果を基に算定することのないよう留意することとする。

その後、都道府県知事が警戒区域を指定する際、求めておいた比エネルギーを式2-1により h_{fmax} とみなし、これを基準水位としてその平面分布を公示することとする（法第53条第4項）。

これにより、市町村長や特定建築を行おうとする者が、任意の箇所における基準水位を求められることとなる。

なお、公示する際の図面の縮尺は1/2500以上を基本とする。

4. 評価手法の検証について

(1) 実績痕跡高を用いた検証

東北地方太平洋沖地震津波による建築物等での実績痕跡高を用いて、

提案する手法の検証を行った。

実績痕跡高としては、東京大学等により、建築物の海側に限らず、さまざまな痕跡高を測定されたものを用いた。

これと式 2-1 を用いて実際の津波浸水シミュレーションから算出した h_{fmax} とを比較した結果を参考資料 2-4 に示す。

この結果より、過小評価することなく基準水位を適切に算定できていると評価した。

(2) 非静水圧 3 次元モデルを活用した再現性等の検証

仮想建築物周辺のみ非静水圧 3 次元モデルを適用するハイブリッドモデルを用いて津波浸水シミュレーションを実施し、非線形長波方程式に基づく平面 2 次元モデルの再現性・適用性の検証を行った。

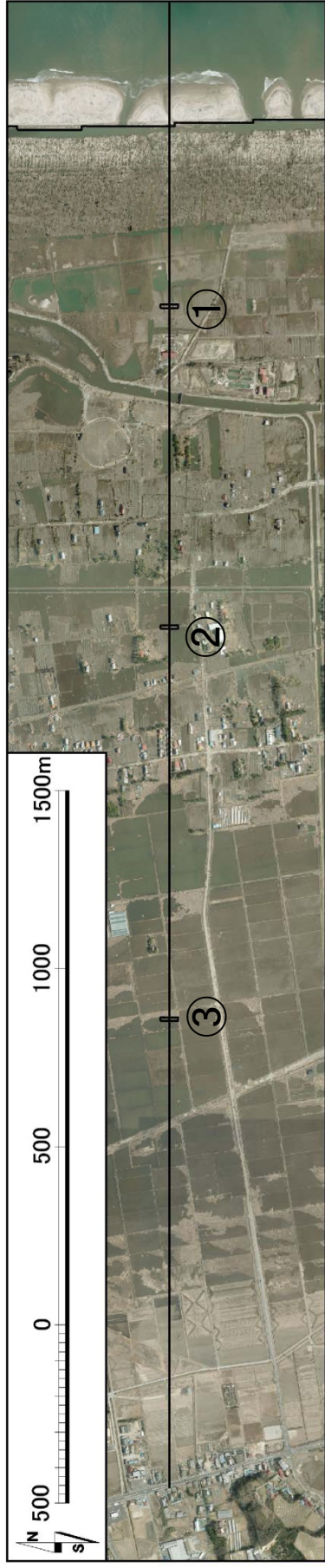
計算領域の一部で非静水圧 3 次元モデルを適用するハイブリッドモデルは、鉛直方向の圧力分布において静水圧近似が成立しない仮想建築物周辺のみ 3 次元の支配方程式とし、それ以外の領域は平面 2 次元の非線形長波方程式により計算するものである。

これら 2 種類の津波浸水シミュレーションの結果を参考資料 2-5 に示す。

この結果より、平面 2 次元モデルにおいても、実用に耐えうる再現性・適用性を有すると評価した。

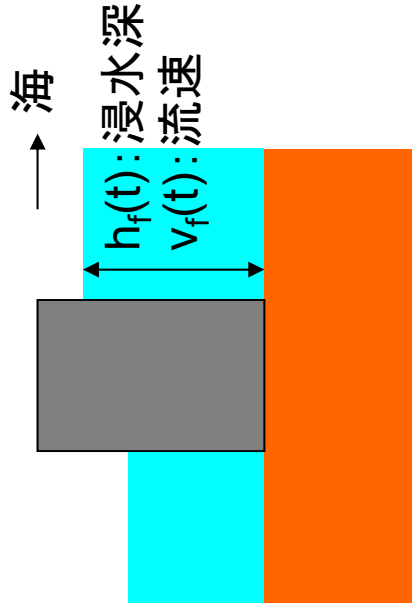
津波浸水シミュレーションによる 仮想建築物海側でのせき上げの算出方法

仮想建築物を4種類、岸沖方向に3箇所配置した津波浸水シミュレーションにより、建築物周辺での浸水深・流速を算定する。
また、建築物を設置しない場合の浸水深・流速を別途算出し、両者を比較する。



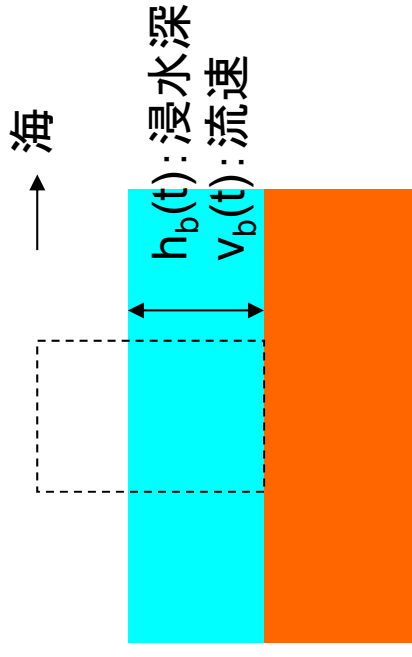
変数の定義

建築物がある場合



h_{fmax} : 最大浸水深
= 基準水位

建築物がない場合

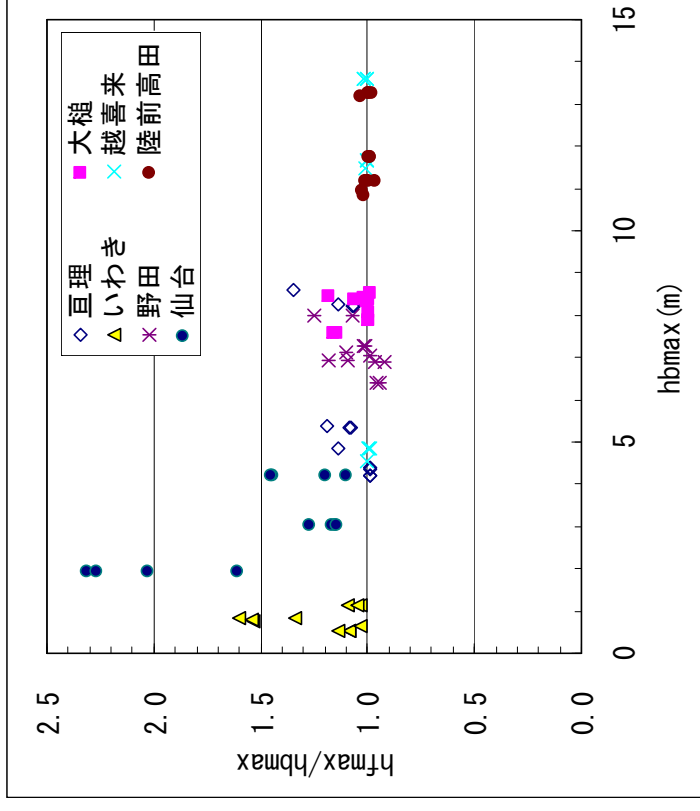
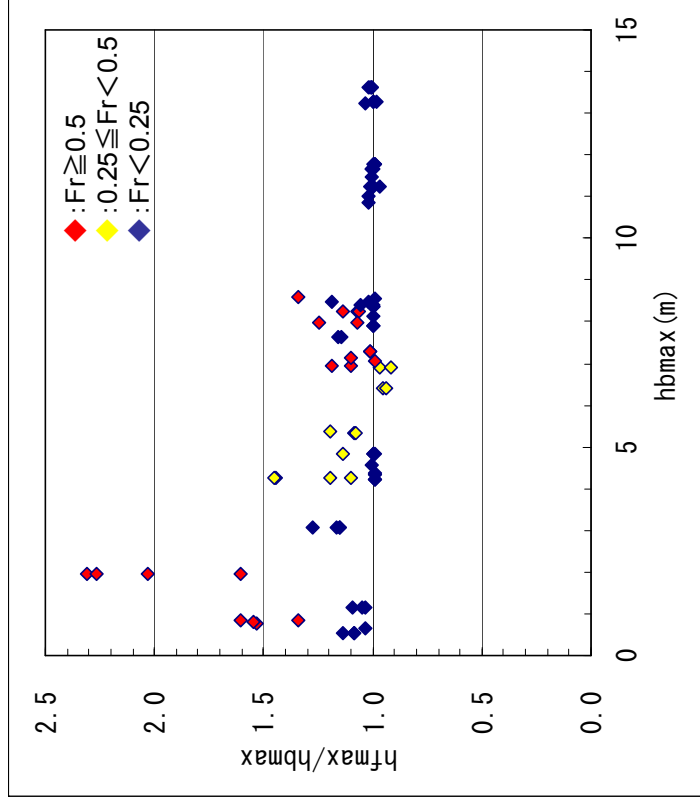


h_{bmax} : 最大浸水深
= 津波浸水想定に定める浸水深

V_{bmax} : 最大流速

参考資料2-2

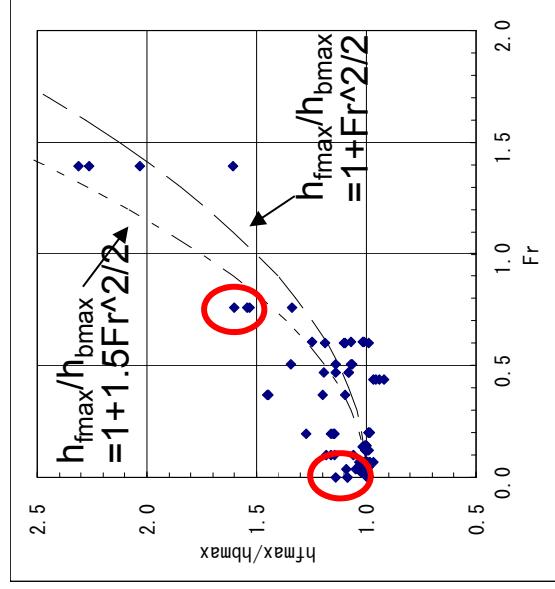
h_{fmax}/h_{bmax} と h_{bmax} との関係



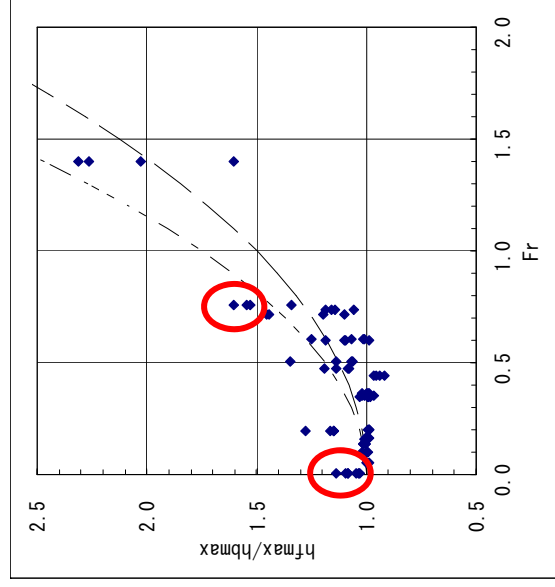
- h_{fmax}/h_{bmax} は2.3以下となっている
- Fr 数(建築部がない場合)が大きい地点で、 h_{fmax}/h_{bmax} が大きい傾向にある

h_{fmax}/h_{bmax} とフルード数との関係

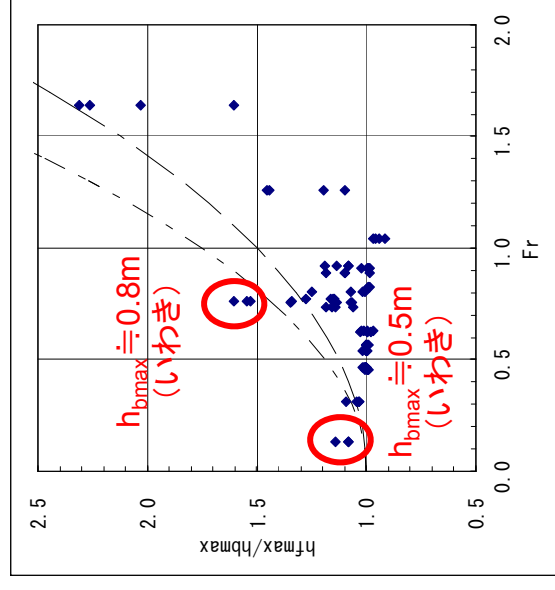
(1) 最大浸水深の時点でのフルード数



(2) 比エネルギーが最大となる時点でのフルード数



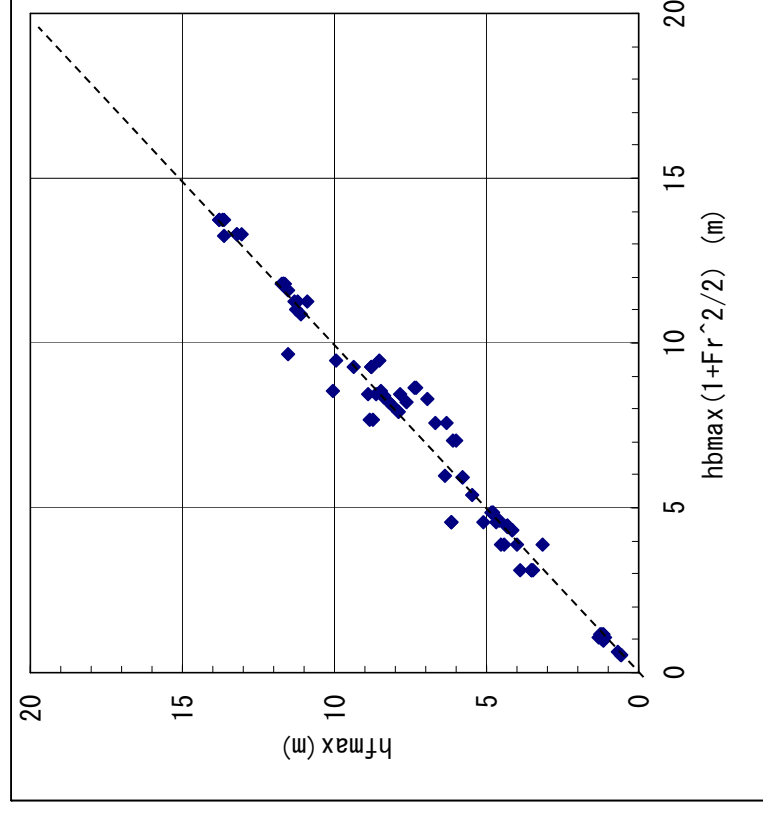
(3) 最大浸水深と最大流速から求めたフルード数



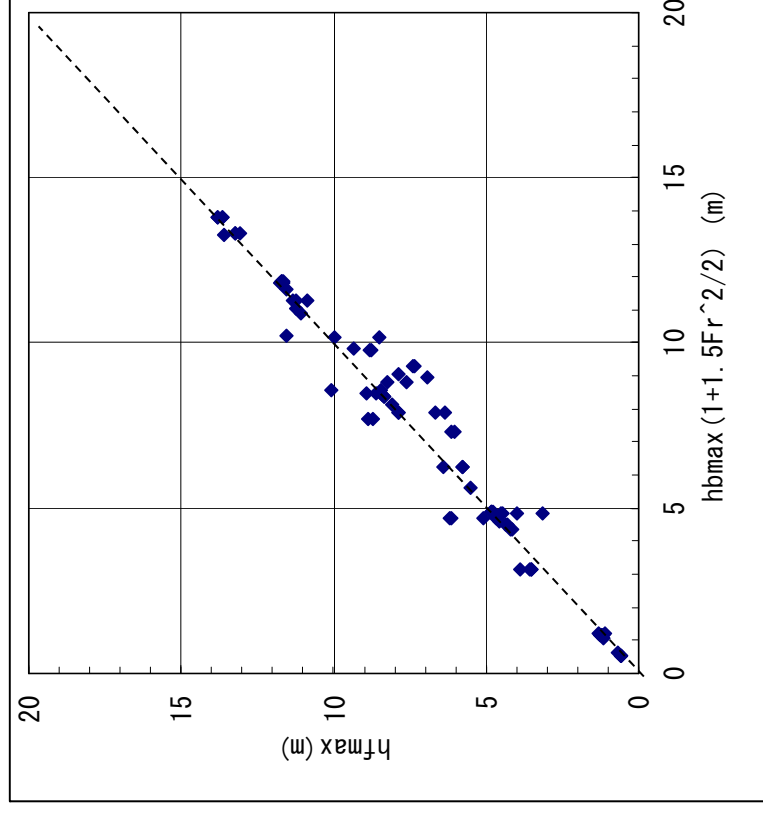
※いずれも建築物がない場合のフルード数

h_{fmax} と $h_{bmax}(1+\zeta Fr^2/2)$ との関係(1)

(1)最大浸水深の時点でのフルード数を用いる場合



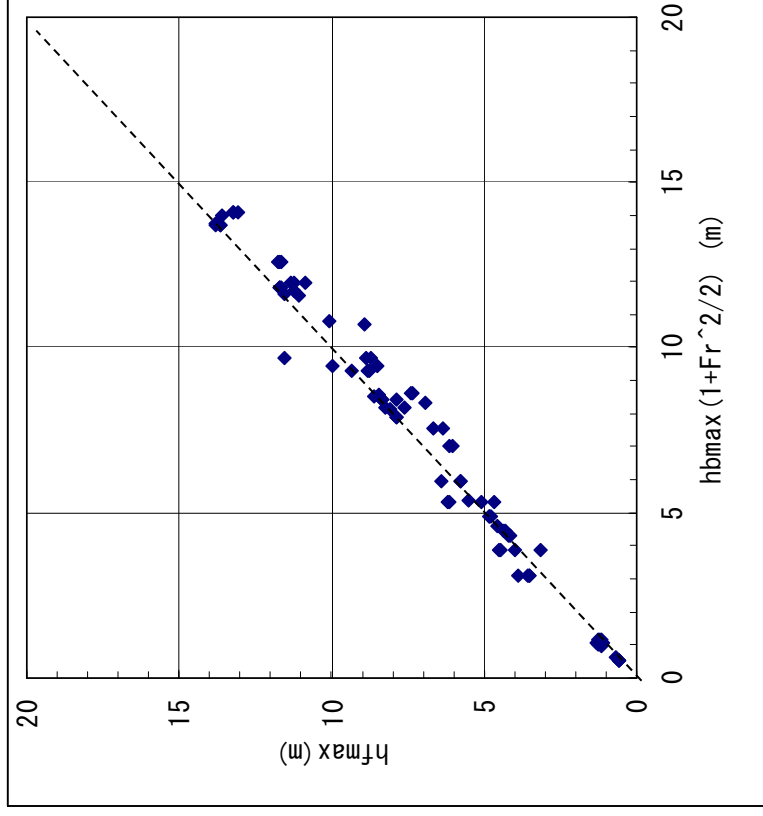
$\zeta=1.0$



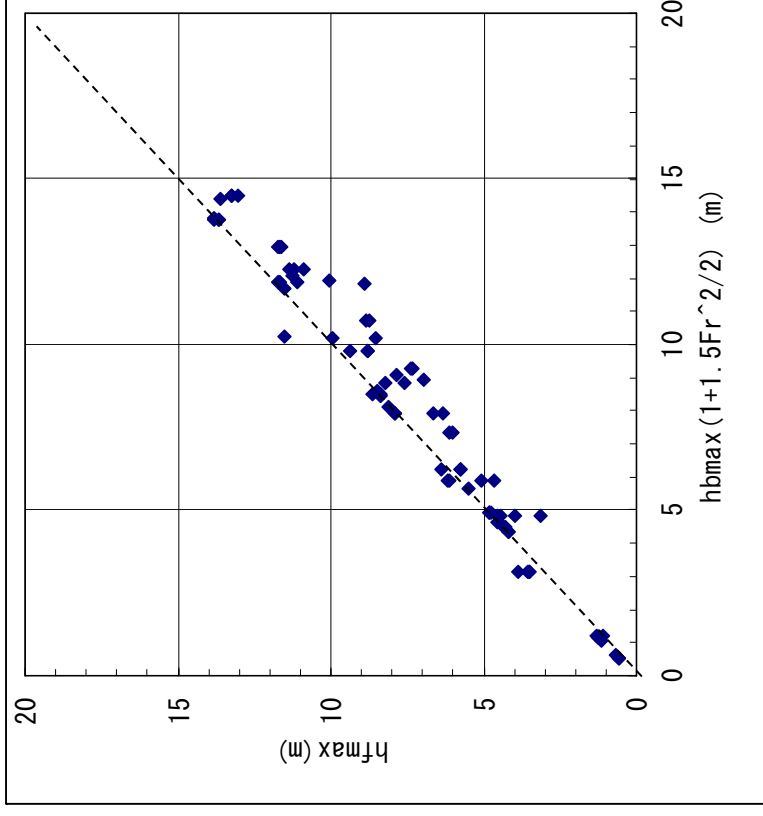
$\zeta=1.5$

h_{fmax} と $h_{bmax}(1+\zeta Fr^2/2)$ との関係(2)

(2)比エネルギーが最大となる時点でのフルード数を用いる場合



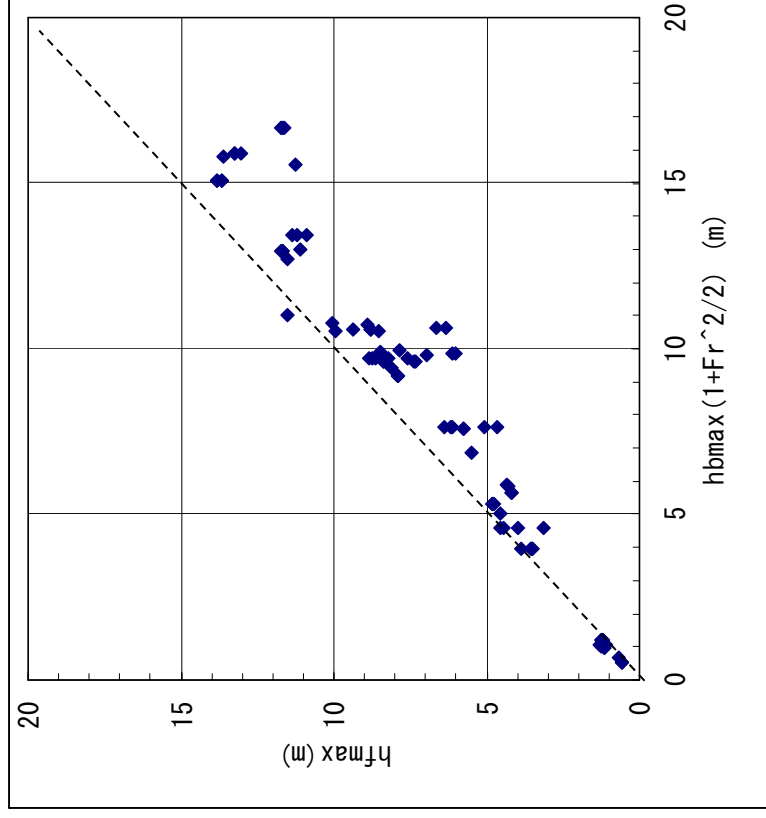
$\zeta=1.0$



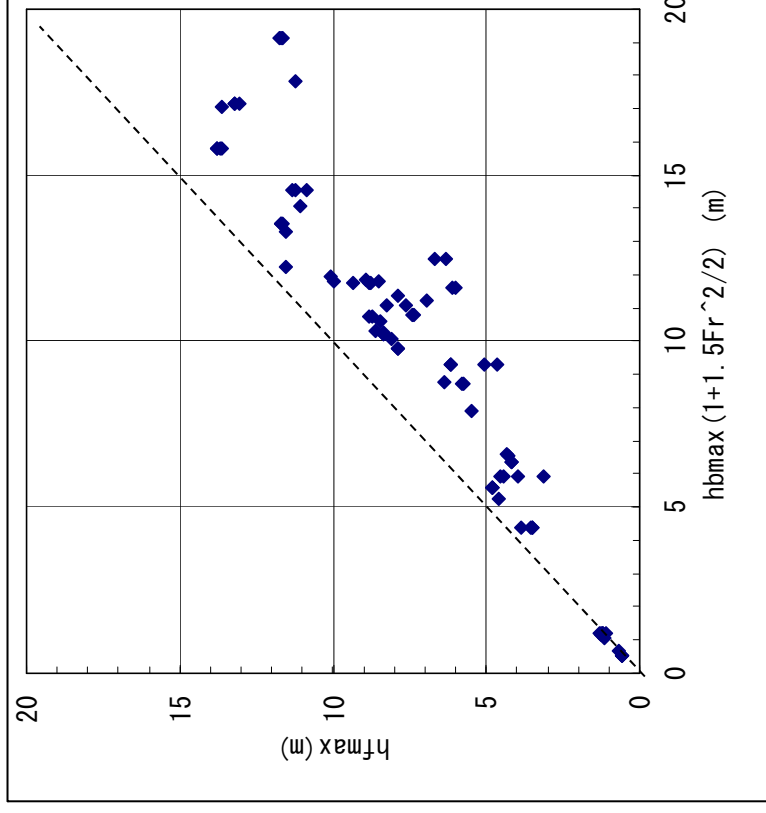
$\zeta=1.5$

h_{fmax} と $h_{bmax}(1+\zeta Fr^2/2)$ との関係(3)

(3)最大浸水深と最大流速から求めたフルード数を用いる場合



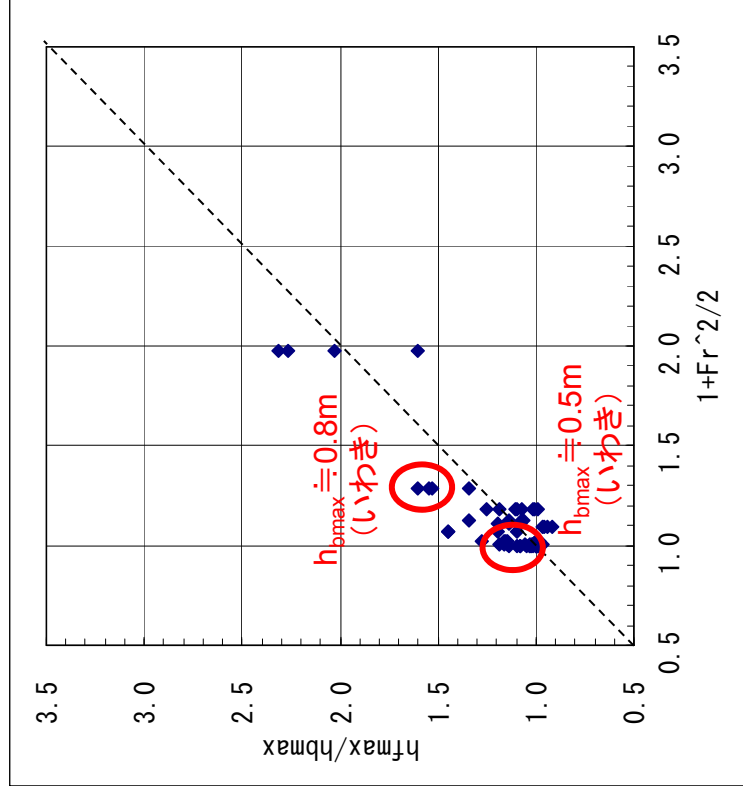
$\zeta=1.0$



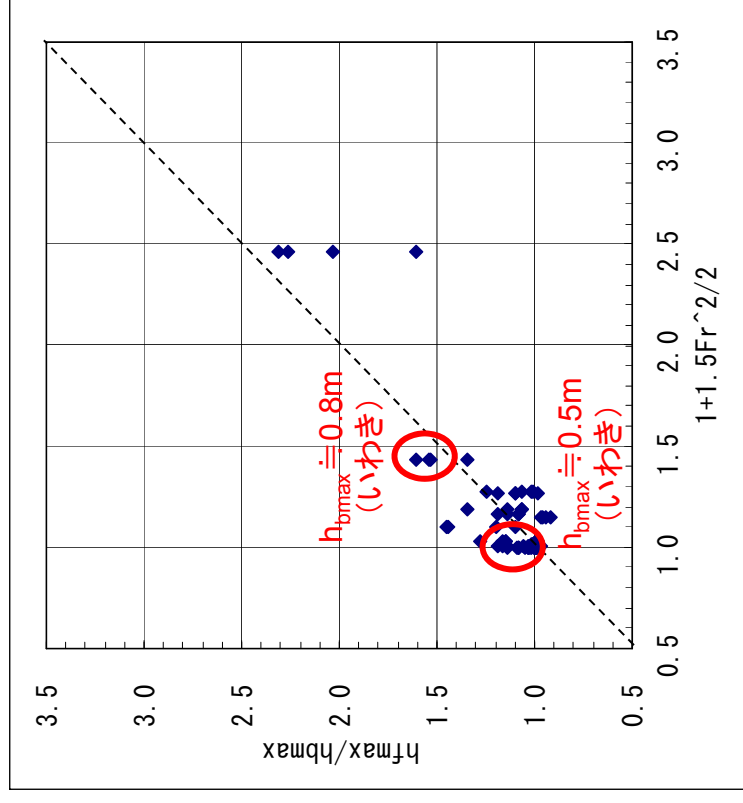
$\zeta=1.5$

h_{fmax}/h_{bmax} と $(1+\zeta Fr^2/2)$ との関係(1)

(1)最大浸水深の時点でのフルード数を用いる場合



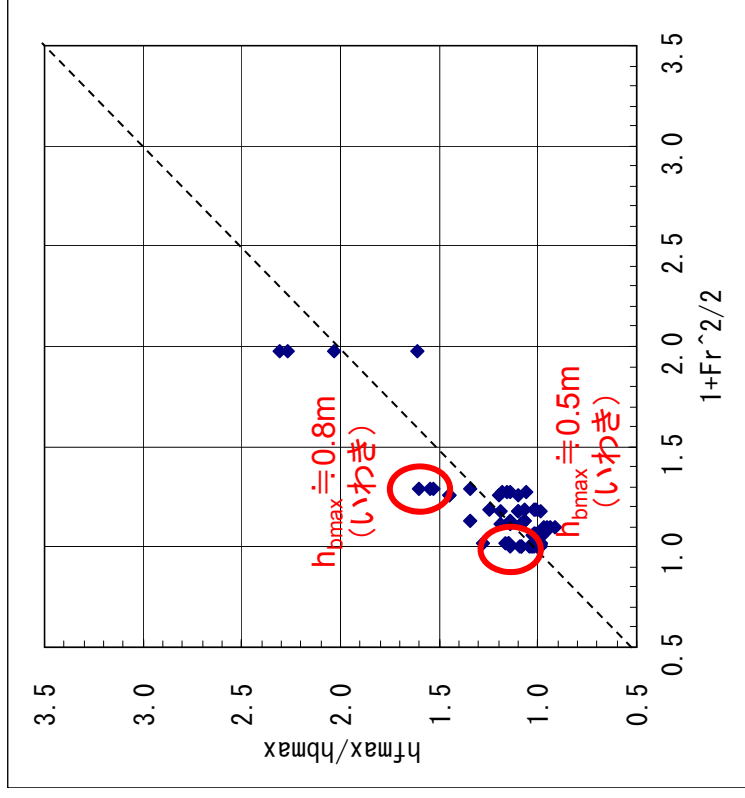
$\zeta=1.0$



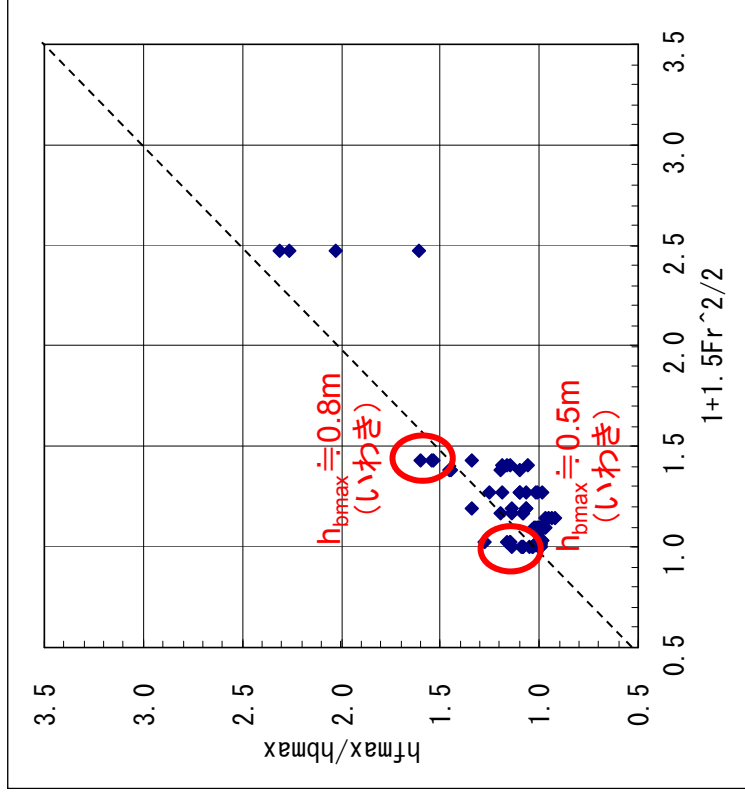
$\zeta=1.5$

h_{fmax}/h_{bmax} と $(1+\zeta Fr^2/2)$ との関係(2)

(2)比エネルギーが最大となる時点でのフルード数を用いる場合



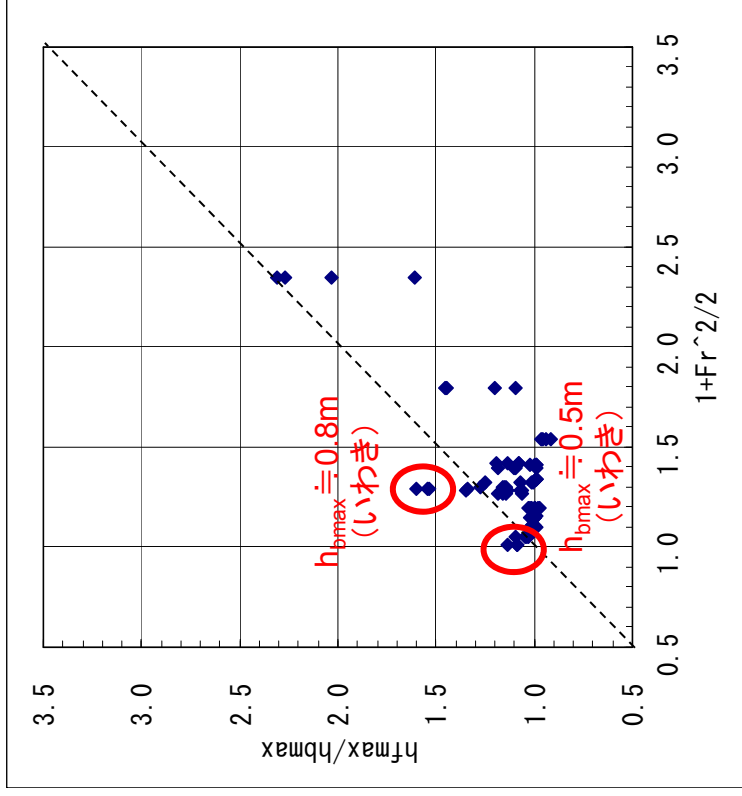
$\zeta=1.0$



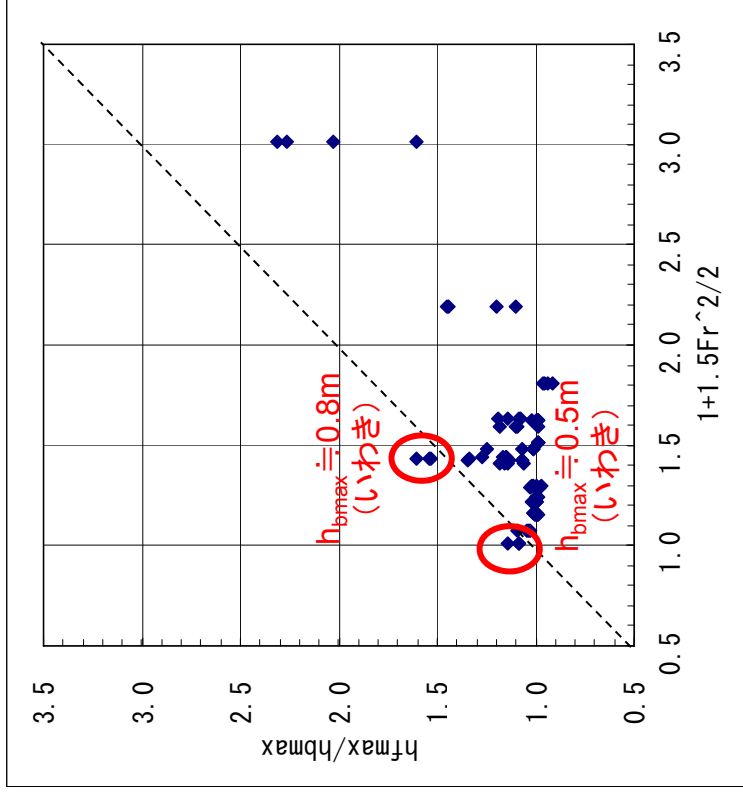
$\zeta=1.5$

h_{fmax}/h_{bmax} と $(1+\zeta Fr^2/2)$ との関係(3)

(3)最大浸水深と最大流速から求めたフルード数を用いる場合



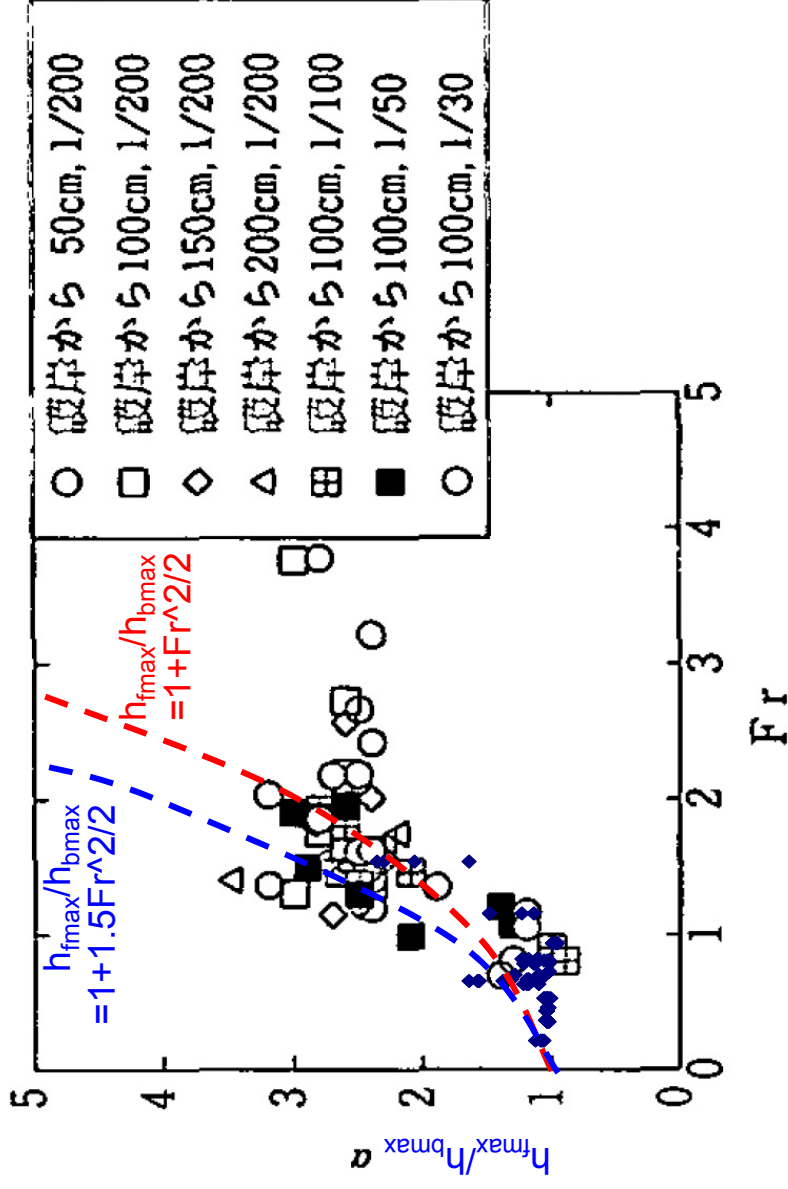
$\zeta=1.0$



$\zeta=1.5$

朝倉らの実験結果との比較

仮想建築物を設置した津波浸水シミュレーションから得られたフルード数と h_{fmax}/h_{bmax} との関係について、朝倉らの実験で得られた α (水平波圧指標; 静水圧に対する比) とともに、Fr 数 (最大浸水深、最大流速から算定) との関係を表示



(図中の凡例は、実験における護岸からの構造物の距離と海底勾配を示している)

朝倉ら(2000): 護岸を越流した津波による波力に関する実験的研究、海岸工学論文集、第47巻、pp.911-915

建築物等の実績痕跡高と計算値との比較

実測値：

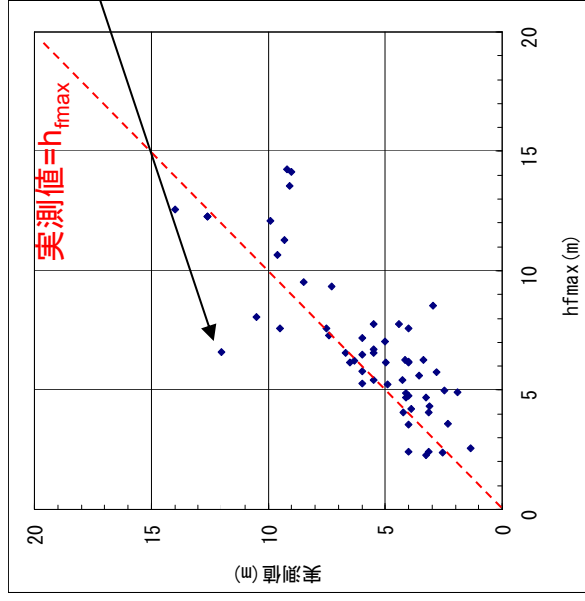
東京大学中埜研究室、国総研・建築研究所によって測定された、仙台平野、陸前高田、大槌の建築物等での浸水深（測定面の向きはさまざま）



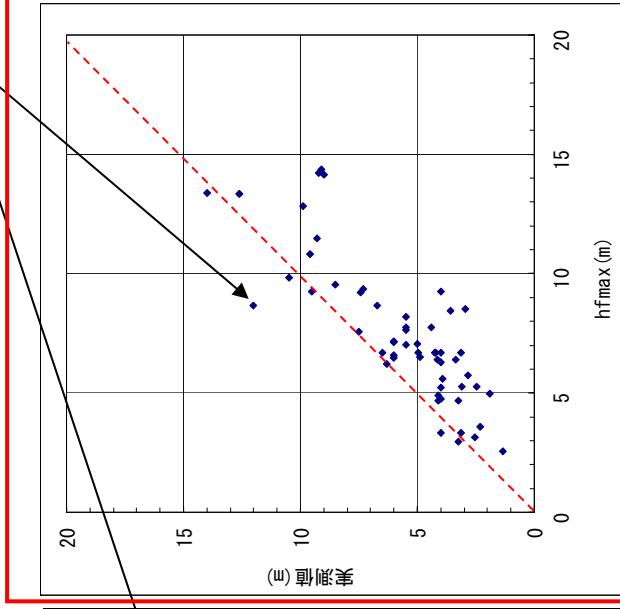
再現計算（個別の建築物を考慮していない）の結果から、フルード数の各定義（3パターン）について、式2-1を用いて h_{fmax} を算定し、浸水深の実測値と比較

スプラッシュが含まれている可能性があるため実測浸水深

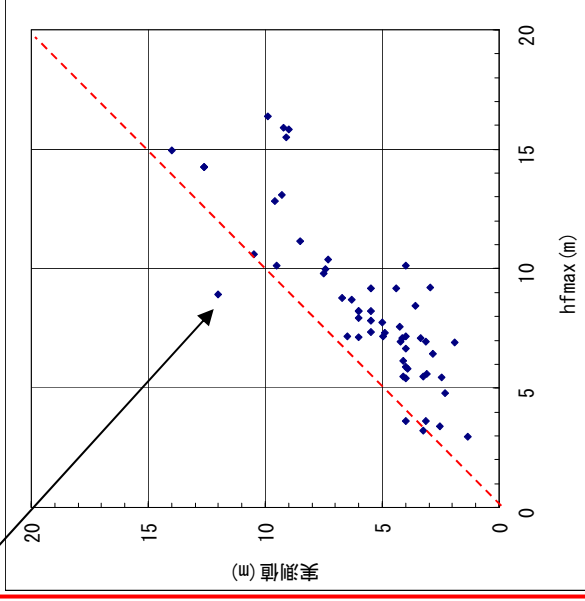
（国総研資料第 636 号に加筆）



(1)最大浸水深の時点でのフルード数を用いる場合

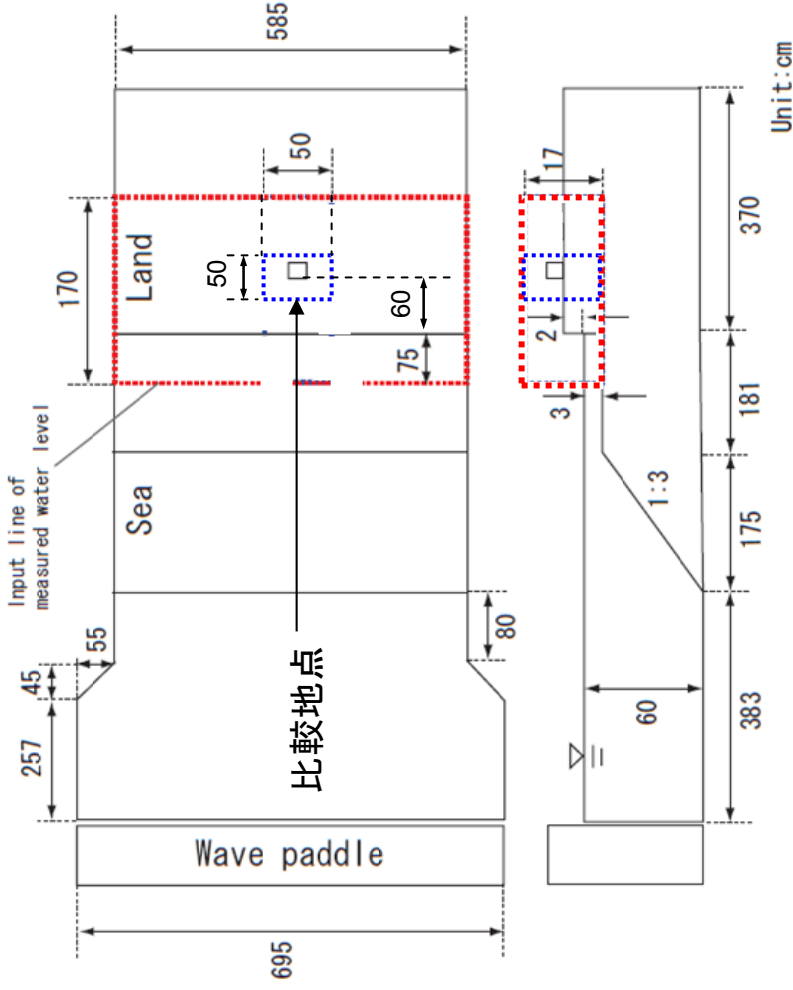


(2)比エネルギーが最大となる時点でのフルード数を用いる場合



(3)最大浸水深と最大流速から求めたフルード数を用いる場合

非静水压3次元モデルを活用した再現性の検証



赤枠：二次元モデルの計算領域

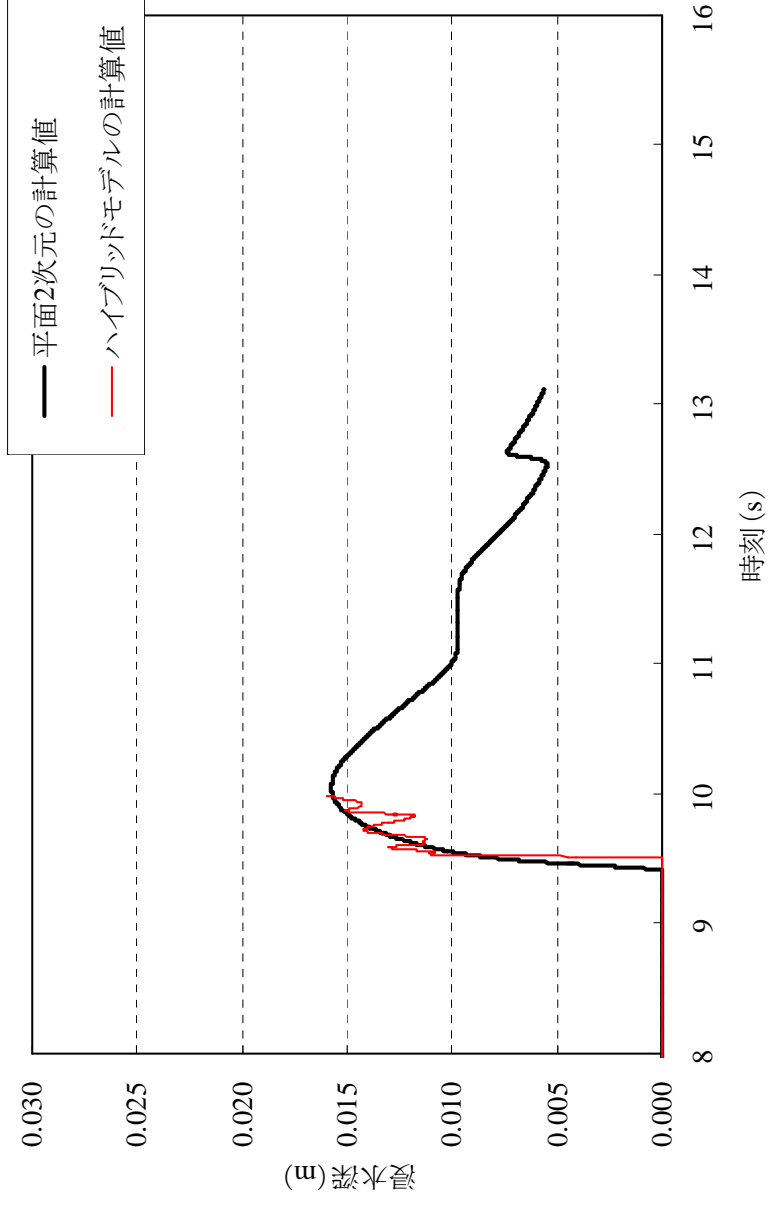
青枠：三次元モデルの計算領域

- ・二次元モデルとハイブリッドモデル(青枠内のみ三次元モデル)により、上図の構造物海側における浸水深を計算・比較した
- ・計算での入射波は、実験における比較地点での最大浸水深と合うように設定した
 $dx=dy=0.005m$, $dz=0.002m$, $dt=0.0005s$

参考資料2-5

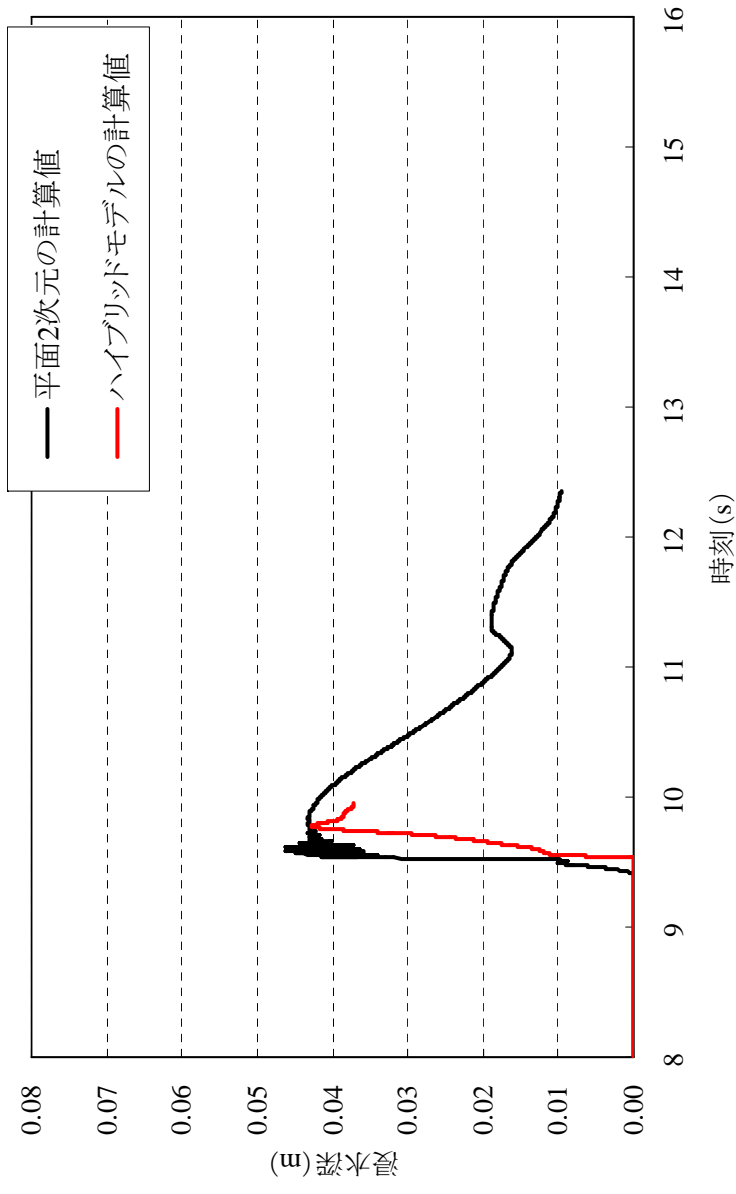
鳴原良典・小竹康夫・岩瀬浩之・藤間功司(2009): 実務的手法による津波波力の評価－直立構造物に作用する波力の数値計算一, 土木学会地盤工学論文集, 第30巻, pp.905-913

建物が無い場合の浸水深の比較



2次元モデルとハイブリッドモデルの波形はほぼ一致している

建物がある場合の浸水深の比較



2次元モデルの最大浸水深はハイブリッドモデルよりやや大きい

→2次元モデルはせき上げを過小に評価していない