

3. 津波外力と道路施設の被災度の評価に関する検討

本章では、津波による道路施設の被災度評価手法を確立する上で参考となる、既往の研究の調査と基礎的な検討の結果を示す。

まず、津波伝播・遡上計算手法ならびに津波外力の評価手法に関する既往の研究を概観する。次に、2.3 節で示した構造物の被災シナリオをもとに、津波来襲時に想定される道路施設の被災形態を網羅的にとりまとめる。最後にこれらの結果を総合して、道路橋を例として被災度評価フローを検討した結果について述べる。

3.1 津波の伝播、遡上計算の手法

津波による道路施設の被災度を評価するためには、まず津波により道路施設に作用する外力を評価する必要がある。津波による外力は、地震による海底変位による初期波形の発生、海岸付近までの伝播、伝播された津波が衝突することによる構造物への外力発生の各段階を経て評価する必要がある。本節は、地震による海底変位による初期波形の発生、海岸付近までの伝播・遡上について、海底から海面までの鉛直方向の物理現象を無視し一様と考える 1 層モデルを用いた津波シミュレーションによる手法を示す。津波の伝播・遡上シミュレーションは図 3-1 の順に行われるため、図の各項目について以下に示す。

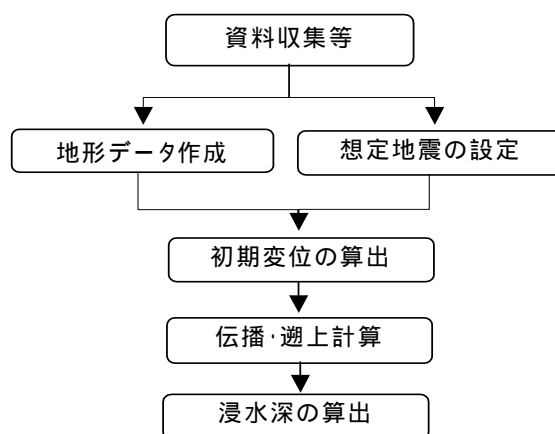


図 3-1 津波シミュレーションの流れ

3.1.1 地形データの作成

津波シミュレーションでは、海底地形及び地表面を再現するための地形データとして、地盤高（標高および水深）および土地利用状況を格子化したメッシュデータ（=グリッ

ドデータ)を用いる。シミュレーションに用いる地形データは用途に応じた作成が必要であり、その作成手法は、メッシュサイズの決定、メッシュサイズに応じた地形データの収集、土地利用に応じた粗度係数からなる。

本節では、メッシュサイズ、土地利用に関して、地形データの収集について検討する。

(1) メッシュサイズ

津波シミュレーションは、標高もしくは水深を2次元のメッシュで表現した地形モデルで計算する。従って、震源からの伝播計算(津波到達時間と津波高の算出)と遡上計算(浸水高の算出)に必要なメッシュサイズについて目的に応じた設定が必要となる。

津波・高潮ハザードマップマニュアル⁵⁾では、伝播計算時の海底地形のメッシュサイズに関して、伝播過程の海域におけるメッシュサイズが最大水位上昇量に与える影響について検討している。津波・高潮ハザードマップマニュアルでの検討は、複雑な海底地形として下田沖の海底地形データを用い、メッシュサイズを変えた津波伝播シミュレーションを行い、水深毎に最適なメッシュサイズについて示している。

表 3-1 伝播計算に最適なメッシュサイズ(津波・高潮ハザードマップマニュアル⁵⁾)

水深	メッシュサイズ	備考
100m以深の浅海域	800m以下	
100m～50m	200m以下	
50m以浅域	100m～50m以下	50m以下まで細かくすることが望ましい。

ここでのメッシュサイズは、精度に影響のでない最も大きなメッシュサイズを示している。

津波・高潮ハザードマップマニュアル⁵⁾では、メッシュサイズに関して、格子間隔を細かくすると計算精度も向上するが、計算時・データ作成時の負荷が大きくなること、計算精度に関しては計算時のメッシュサイズ(格子間隔)よりも標高データの精度であることを記述し、12.5mメッシュサイズでの検討例を示している。

遡上計算時の陸上地形のメッシュサイズに関しては、遡上計算の用途に応じたメッシュサイズの設定が必要である。ここでは、シミュレーションの用途に応じたメッシュサイズの検討として1m四方に1点の割合で収録されたレーザースキャナデータを用い、それぞれのメッシュサイズでの地形データを作成した。

図 3-2 は、地表面を構造物を含み再現した地表面データを異なるメッシュサイズ(1mから伝播計算の50m以浅で必要とされる50mまで)で示した。

図 3-3 は、入手が比較的容易である標高データを模したデータとして、地表面データ

から構造物を除いた標高データ作成し、標高データを異なるメッシュサイズ（1m から伝播計算の 50m 未満で必要とされる 50m まで）で示した。

図 3-2、図 3-3 より、道路や建物の構造物の再現には 2.5m 程度のメッシュサイズが、おおまかな地形表現には 10m 程度のメッシュサイズが必要なことがわかる。メッシュサイズの違いによる建物・道路の再現状況と、各メッシュサイズで浸水シミュレーションを行った場合に考えられる使用用途について表 3-2 に検討結果をまとめた。

表 3-2 メッシュサイズと地物表現の再現程度

メッシュ	建物	道路	浸水シミュレーションの用途
1m	低層建物も一戸単位での再現可能	街区内の幅4m道路	住民個々の避難シミュレーション
2.5m	中高層建物の再現可能であるが、低層建物の一戸単位での再現は不可能	街区を区切る幅4m～6m道路	街区単位での避難シミュレーション。構造物への影響評価
5m	中高層建物の再現可能であるが、街区内の低層建物は再現できない。	街区を区切る幅6m以上の道路	市町村単位での防災計画（街区を基本にした被害想定が可能）
10m	高層建物の再現は可能	街区をつなぐ幅 15m～の道路	県単位での防災計画（メッシュを基本にした被害想定が可能）
25m	建物の表現は不可	幅20m～以上の道路	被害予測
50m	建物の表現は不可	道路の再現は不可	おおまかな被害予測

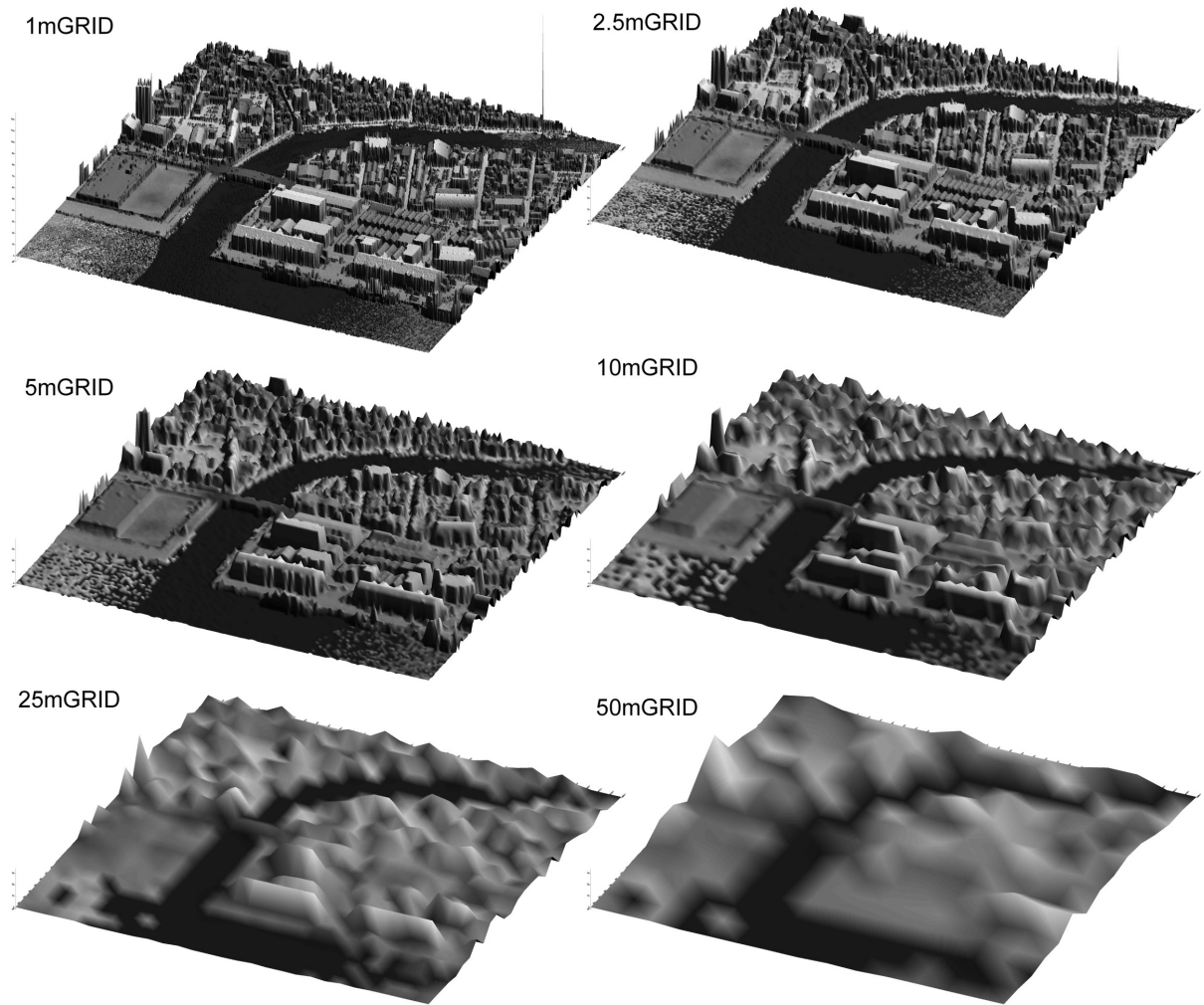


図 3-2 メッシュ (GRID) サイズ毎の地形表現 (地形 + 構造物) の違い

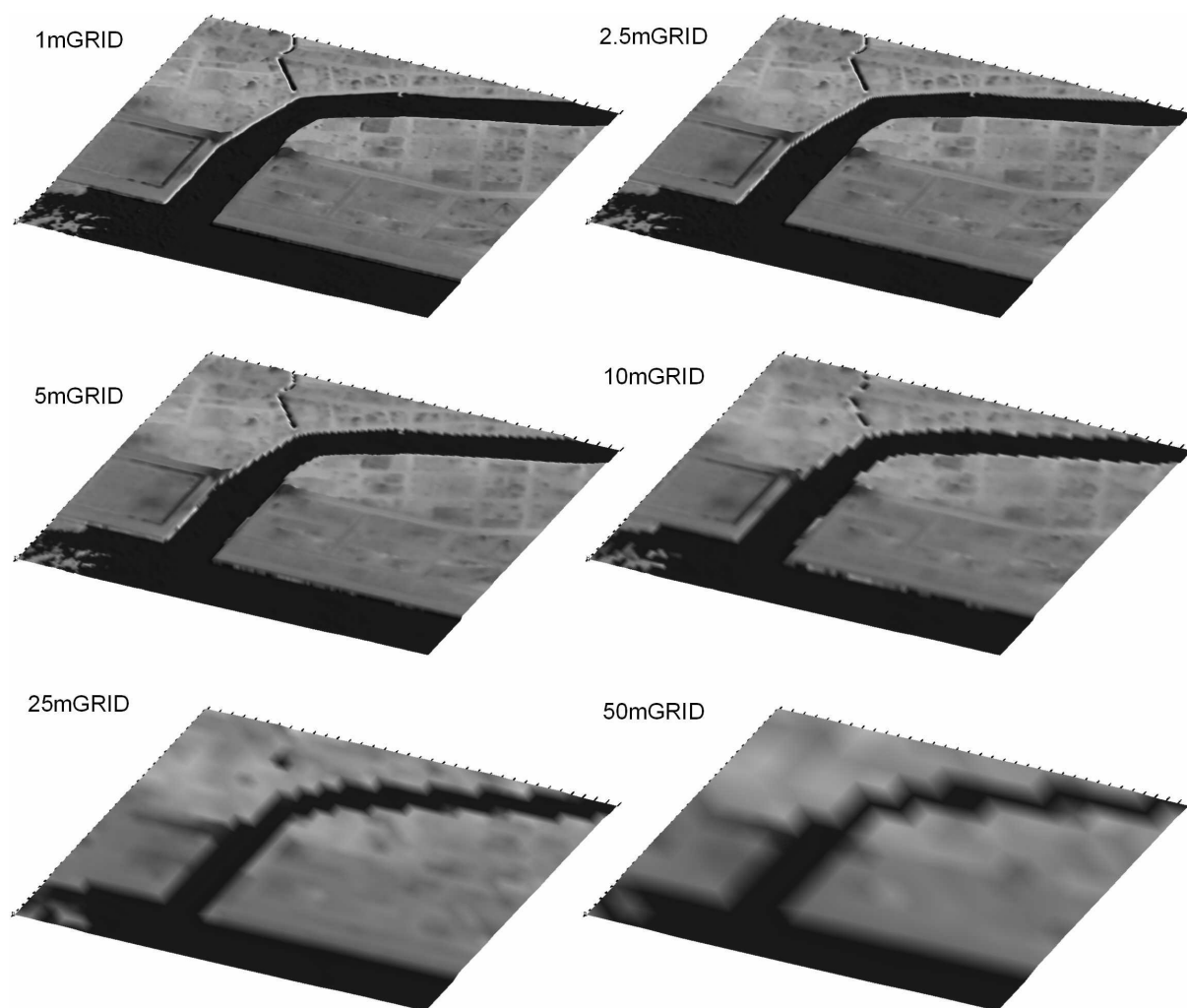


図 3-3 メッシュ(GRID)サイズ毎の地形表現(地盤データのみ)の違い

(2) 土地利用に関して

遡上計算時に地面の摩擦を考慮することにより、遡上域での土地利用状況を考慮した浸水計算を行うことができる。

津波・高潮ハザードマップマニュアル⁵⁾では、遡上計算時の土地利用状況に応じた粗度を考慮することを記述し、小谷・今村・首藤らの粗度係数の設定値⁵⁾⁶⁾を示している。

粗度係数の設定にあたり、国土数値情報は、ほぼ全国が整備されているが、細密数値情報は首都圏、中部圏、近畿圏の一部地域のみでの整備である。粗度係数により遡上計算結果に影響がでるため、用途に応じた粗度係数の設定が必要であるが、不明の場合、全ての地域について最小値である 0.02 を使うことで安全側の評価ができる。

表 3-3 粗度係数の設定値（津波・高潮ハザードマップマニュアル⁵⁾に追記）

土地利用	粗度係数	国土数値情報(100m)	細密数値情報(10m)
住宅地	0.04 ~ 0.08	建物用地	一般低層住宅地 密集低層住宅地 中高層住宅地 商業・業務用地
工場地等	0.04		工業用地 その他公共公益施設用地
農地	0.02	田、その他農用地	田、畑、その他の農地
林地	0.03	森林	山林・荒地等
水域	0.025	河川地及び湖沼 海浜 海水域	河川・湖沼等 海
その他	0.025	荒れ地 その他の用地 (空き地等) 幹線交通用地 ゴルフ場	公園・緑地など 造成中地 道路用地 空き地 その他

津波・高潮ハザードマップマニュアル⁵⁾の記述に、中央防災会議東南海・南海地震等に関する専門調査会(第16回)の資料⁶⁾を追記

(3) 地形データの収集

地形データは、伝播計算・遡上計算時に用いるメッシュデータを作成するために用いる。以下に利用可能な海底地形（水深）データ、遡上地域（標高）データについて説明する。

原子力発電所の津波評価技術⁷⁾では、計算に用いる地形データは、最新の海底地形図、陸上地形図をもとに作成することを基本とすることを記述し、活用可能な水深データ・陸上域地形データについて示している（表 3-4）。

津波・高潮ハザードマップマニュアル⁵⁾では、津波シミュレーションに用いる標高値は浸水深に直接影響を及ぼすため、精度の高いデータが必要となること、特に津波による浸水が予想される地域の標高データは、浸水深の評価のため1mより詳細な精度が必要であることを記述し、地理院の1/25000地形図でなく都市計画図（国土基本図）1/2500の使用について示している（表 3-5）。

中央防災会議東南海・南海地震等に関する専門調査会（第16回）での参考資料⁶⁾では、津波シミュレーションに用いる粗度データ（土地利用状況）について、表 3-6の資料を用いて作成を行っている。

表 3-4 地形データ（原子力発電所の津波評価技術⁷⁾）

	データ種類	提供団体	備考
水深	海図・海の基本図	海上保安庁水路部	
	1kmメッシュ海底地形図	(財)日本水路協会	
	深浅測量結果		既に評価地域で実施されていた場合に有用
	5分メッシュ地形データ	NOAA(1988)	遠地津波等広範囲を対象
	2分メッシュ地形データ	Smith and Sandwell(1977)	広範囲かつ深海域を対象
遡上地域	数値地図	国土地理院 (財)日本数値地図センター	海岸付近の地形精度は十分ではないことに注意が必要

1km メッシュ海底地形図に変わり、JODC（日本海洋データセンター http://www.jodc.go.jp/index_j.html）より500mメッシュ海底地形データを入手することが可能である。

表 3-5 地形データ（津波・高潮ハザードマップマニュアル⁵⁾）

	データ種類	提供団体	備考
標高	1/25,000地形図	国土地理院	10m間隔の等高線で標高が表現されている。被害が発生しやすい水際線付近の標高の再現が難しい
	1/50,000地形図	国土地理院	
	50m格子標高値	国土地理院	1/25,000地形図より作成されているため。1/25,000と同程度の精度
	1/2500地形図 (国土基本図)	自治体	1m間隔の等高線で標高が表現されている。精度の高い標高データを作成することが可能である。

表 3-6 土地利用に関するデータ(中央防災会議⁶⁾)

	データ種類	提供団体	備考
土地利用状況	国土数値情報(土地利用)	国土交通省	インターネットで公開
	細密数値情報(10メッシュ土地利用)首都圏1994年版	国土地理院	
	細密数値情報(10メッシュ土地利用)中部圏1994年版	国土地理院	
	細密数値情報(10メッシュ土地利用)近畿圏1994年版	国土地理院	

本検討の目的の一つは、道路施設に対する被災度評価である。被災度評価の際に避難についても検討も行う場合、浸水域では2.5mのメッシュサイズが必要と考えられる。しかし、津波の伝播計算を行う際には500mメッシュで全体を計算し、地域を絞ってメッシュサイズを小さくしていくことが可能である。メッシュサイズの小さなデータから大きなメッシュサイズのデータを作成することは可能であるが、逆は不可能である。従って用途に応じたサイズ・規模を適切に選ぶ必要がある。ここでは、データの収集手法の検討結果をメッシュサイズ毎に整理し表 3-7 に示す。

表 3-7 メッシュデータの収集手法の検討

	メッシュサイズ	データ名	備考
伝播計算	500m	J-DOSS	日本海洋データセンター(JODC)のオンラインサービス座標系はWGS84で提供されている。
	250m	大陸棚の海の基本図	大陸棚の海の基本図(海上保安庁)は縮尺が1:1000000~1:200000で整備されている。各基本図より250mメッシュが作成可能
	125m	大陸棚の海の基本図	大陸棚の海の基本図(海上保安庁)は縮尺が1:1000000~1:200000で整備されている。
	50m	沿岸の海の基本図	沿岸の海の基本図(海上保安庁)は縮尺が1:10000~1:50000で整備されている。1:50000の基本図より50mメッシュが作成可能。
河川遡上浸水計算	25m	沿岸の海の基本図	1:25000~1:10000の沿岸の海の基本図(海上保安庁)より25mメッシュが作成可能
	10m	深浅測量結果	特に河口付近で必要な場合には、ナローマルチビーム等を利用した面的な深浅測量結果を利用することも可能
	50m	数値地図50m	国土地理院より1/25000地形図をベースに作製されている。
	25m	1/25000地形図	1/25000地形図より、25mメッシュが作成可能である。
	10m	数値地図10m	国土地理院より1/10000及び1/5000をベースに作成されている。主に火山地域で作成されている。
	5m	数値地図5m	国土地理院により航空レーザスキャナ測量による精密地盤高計測により求めた数値標高モデル。現在、関東と中部の一部エリアが公開されている。
浸水計算	2.5m	国土基本図 都市計画図など	1/2500~1/5000の大縮尺の実測図、たいていの市町村の都市計画区域内で整備されている。
	2.5m以下		特に浸水計算で必要な場合には、航空レーザスキャナ測量等を利用した面的な測量結果を利用することも可能

3.1.2 地盤変位の算出による初期変位の算出

津波伝播の計算条件として、海底面の鉛直変位分布を初期変位として設定する。

原子力発電所の津波評価技術⁷⁾では、一般的に用いられている鉛直変位分布算出手法として、地震発生地盤が等方で均質な弾性体であると仮定して地震断層運動に伴う周辺地盤の変異分布を計算する Manisinha and Smylie(1971)の方法が示されている。Manisinha and Smylie(1971)の方法を用いた初期変位の算出手順を図 3-4 に示す。

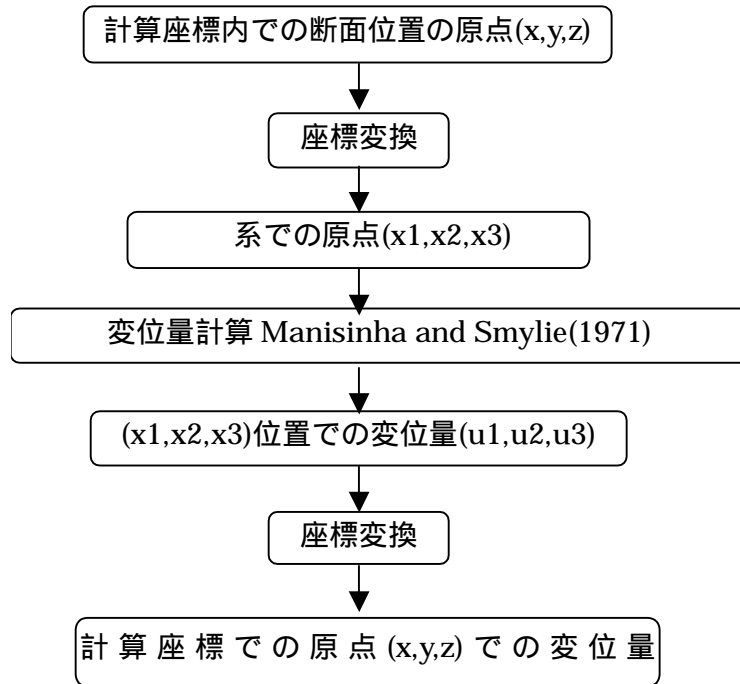


図 3-4 初期変位の算出手順

3.1.3 伝播計算

津波のシミュレーションでは、海面水位変動量の初期値の決定後、津波の伝播計算を海水の浅水波理論に基づいて行う。津波のシミュレーションでは、支配微分方程式の近似解法として、leap-frog 法による差分法を用いて、水位と流速を用いて津波の挙動を算出する。

以下に、津波の伝播計算に用いる浅水波理論による支配方程式を示す。

連続の式 (3-1)

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial \eta}{\partial x} [u(h + \eta)] + \frac{\partial \eta}{\partial y} [v(h + \eta)] = 0$$

運動方程式 (3-2)

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \cdot \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + g \frac{\partial \eta}{\partial x} + \frac{\tau_x}{\rho} = 0$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \cdot \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + g \frac{\partial \eta}{\partial y} + \frac{\tau_y}{\rho} = 0$$

： 静水面からの水位の変位

x, y : 位置座標

t : 時間座標

u, v : xy 方向の流速

$x/$, $y/$: xy 方向の摩擦力
g: 重力加速度

3.1.4 遡上計算

津波の陸上遡上や引き波に伴う海底露出を再現するためには、陸域と海域の移動境界を設定する必要がある。

遡上計算を行うための移動境界に関するアルゴリズムが岩崎・真野⁸⁾により、一様水深域でのモデル計算による遡上高と理論式による遡上高との比較、及び三陸海岸の山田湾における 1896 年三陸大津波の再現計算(浅水長波の運動方程式と連続方程式を leap frog 法による差分計算で実施、陸側の境界条件にこの論文での手法を適用)が示されている。

この方法は、岸側の格子点の地盤高より沖側格子点の水位が低い場合に、境界の流量を 0 とし高い場合に流量を算出する手法である(図 3-5)。この手法に基づく処理手順を図 3-6 に示す。

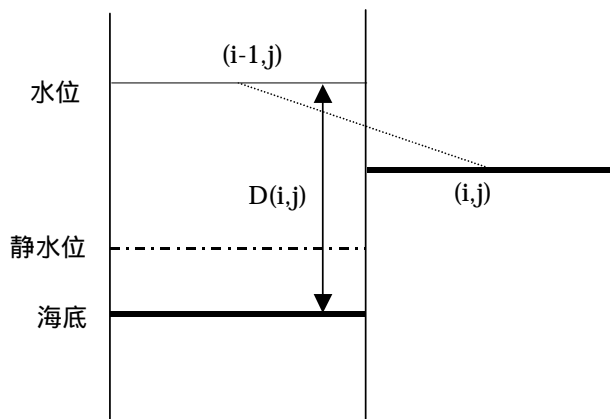


図 3-5 岩崎・真野による遡上計算概念図⁸⁾

遡上計算を行うための移動境界に関する処理手順において、線流量の計算方法の見直しが小谷ら⁹⁾によって行なわれている。この手法では以下の手順で線流量の計算を行う。

流量を計算するための全水深は、先端部での水位と dry 計算点の地盤高さの差とし、差が負の場合は流量を 0 とする。

移流項の計算の際に全水深が 0 または下限値より小さくなった場合には、全水深を分母としてもつ項のみを省略する。

小谷ら⁹⁾の手法の計算概念図を図 3-7 に示す。

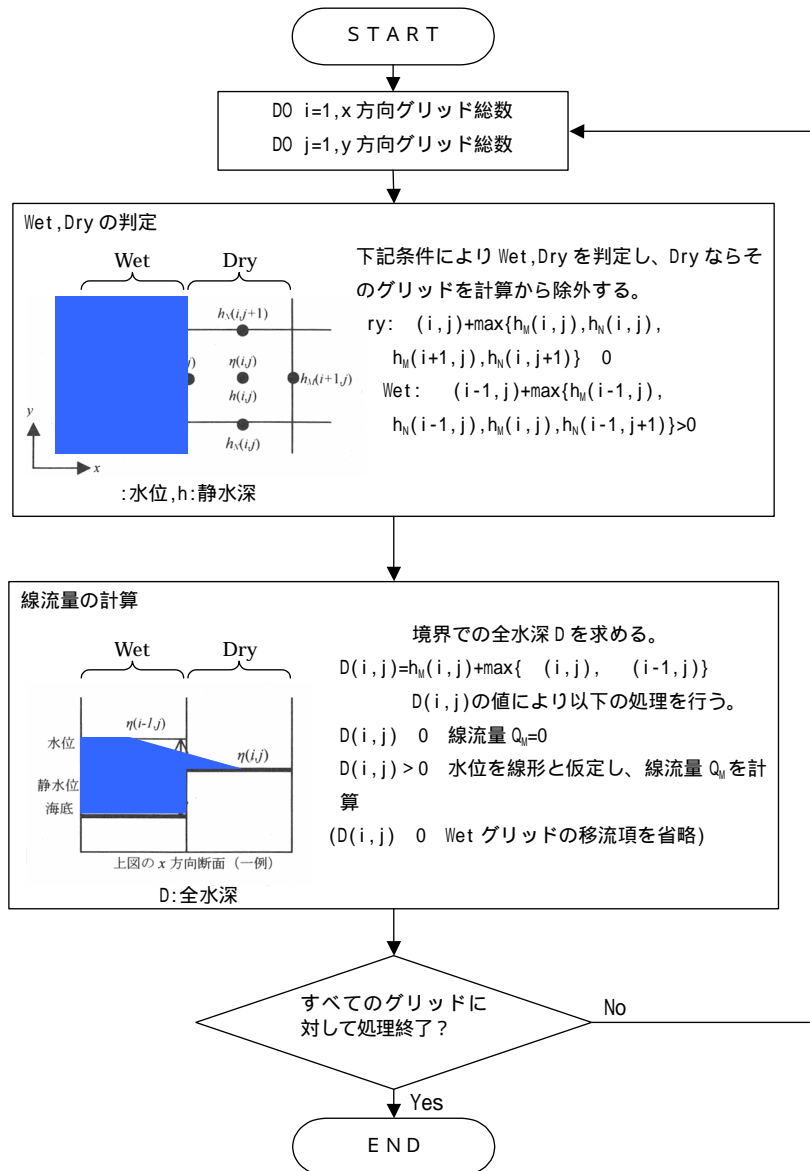


図 3-6 岩崎・真野の手法⁸⁾に伴う遡上計算処理フロー

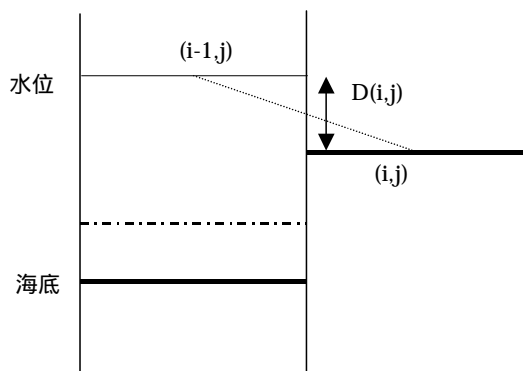


図 3-7 小谷による遡上計算概念図⁹⁾

3.2 津波外力に関する既往検討調査

道路施設の被災度の検討にあたり、津波による津波外力の算定が必要となる。津波による外力は、表 3-8 のように波圧・波力、掃流・洗掘、浮力・揚圧力、漂流物衝突力が想定される。本節では、津波外力に関する既往の検討を調査した。調査した項目を以下に示す。

表 3-8 津波外力に関する既往の検討

	対象	可能性	式	対象	レビュー資料	備考
波圧・波力	津波		合田式	沿岸に建設された堤防	港湾の施設の技術上の基準・同解説 ¹⁰⁾	橋梁への利用の場合、適用水深の問題有り
	津波		朝倉ら	沿岸に建設された建物(津波避難ビル)	津波に対する構造物の構造設計法(素案) ¹¹⁾	陸上に遡上後の津波を対象
	津波		池野ら	段波を受ける構造物	原子力発電所の津波評価技術 ⁷⁾	陸上に遡上中の津波を対象
	平均波		広井公式	深い水深の橋脚	道路橋示方書 ¹⁴⁾	水深の浅い所では考慮の必要が無いとの記述
掃流	津波	×	浅井ら	大掃流による土砂移動	-	移動床混合砂モデル
洗掘	河川流		Andru他	最大洗掘深さと橋脚幅の関係式	水理公式集 ¹⁶⁾	実験式のまとめを示している
揚圧力	重複波		合田	水面付近の水平板(棧橋等)	港湾の施設の技術上の基準・同解説 ¹⁰⁾	
	重複波		伊藤、竹田ら	棧橋	港湾の施設の技術上の基準・同解説 ¹⁰⁾	棧橋模型実験を基にした算定式
浮力	津波			沿岸に建設された建物(津波避難ビル)	津波に対する構造物の構造設計法(素案) ¹¹⁾	津波避難ビルに対する浮力
衝突力	津波		松富	流木の縦衝突を対象	原子力発電所の津波評価技術 ⁷⁾	津波段波を用いた実験式
	津波		池野ら	各種形状漂流物の衝突力と衝突応力	原子力発電所の津波評価技術 ⁷⁾	津波段波を用いた実験式
	平均波			流木その他の流送物の衝突	道路橋示方書 ¹⁴⁾	

可能性(評価への適用)について : 現在、基準として津波評価に利用されている。
: 津波を対象とした算出手法としてレビューを受けている。
: 津波を対象としていないが評価技術として使われている。
× : それ以外

3.2.1 波圧・波力

沿岸に建設された堤防に対する波圧に関して、港湾の施設の技術上の基準・同解説¹⁰⁾に、合田式による波圧算定式(3-3)が示されている。

$$\eta = 1.5H \quad (3-3)$$

$$p = 1.1\rho_0 gH$$

η : 静水面上波圧強度が0となる高さ(m)

H : 津波波高(m)

p : 波圧強度(kN/m²)

ρ_0 : 水の密度(t/m³)

g : 重力加速度(m/s²)

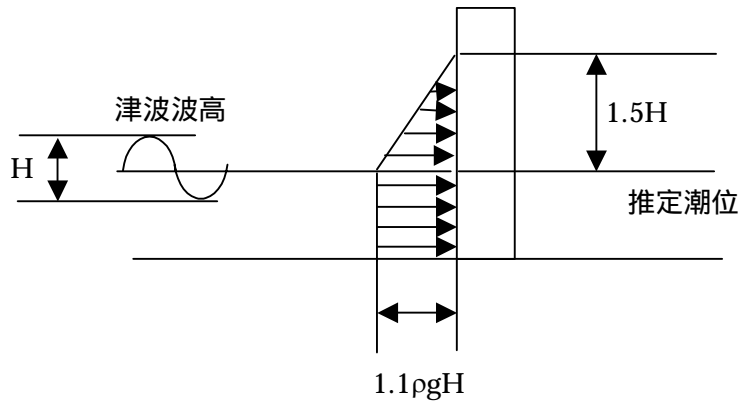


図 3-8 合田式による波圧分布¹⁰⁾

津波被害が予想される沿岸域での津波避難ビルに対する波圧に関して、津波に対する構造物の構造設計法(素案)¹¹⁾に、朝倉ら¹²⁾に基づく波圧算定式(3-4)が示されている。

$$\eta = 3.0h \quad (3-4)$$

$$p = 3.0\rho_0 gh$$

η : 波圧強度が0となる高さ(m)

h : 浸水高(m)

p : 波圧強度(kN/m²)

ρ_0 : 水の密度(t/m³)

g : 重力加速度(m/s²)

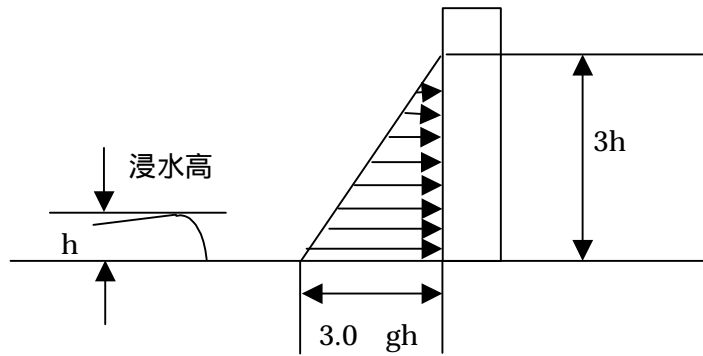


図 3-9 朝倉らによる波圧分布¹²⁾

砕波段波の波圧分布式(3-5)が、貯水タンクのゲート開放実験より、池野ら¹³⁾によって算出されている。

$$\eta = 3ah \quad (3-5)$$

$$pm(z) = 2.2 \cdot (ah - z/3) \alpha \rho g \quad (0 \leq \frac{z}{ah} \leq 3)$$

$$pm(z) = 2.2 \cdot ah \cdot \alpha \rho g \quad (\frac{z}{ah} < 0)$$

η : 静水面上波圧強度が0となる高さ(m)
 ah : 津波段波振幅(m)
 $pm(z)$: 波圧強度(kN/m²)
 z : 陸上地面を基準とした正の座標

ρ_0 : 水の密度(t/m³)

g : 重力加速度(m/s²)

α : 砕波時の割増係数

$$\alpha = 1.36 \quad \text{静水面上} : (0 \leq \frac{z}{ah} \leq 3) \quad \alpha = 1.36 \cdot (1 + 0.52 \cdot \frac{z}{ah}) \quad \text{静水面直下} : (-0.5 \leq \frac{z}{ah} \leq 0)$$

$$\alpha = 1.0 \quad \text{静水面下} : (\frac{z}{ah} \leq -0.5)$$

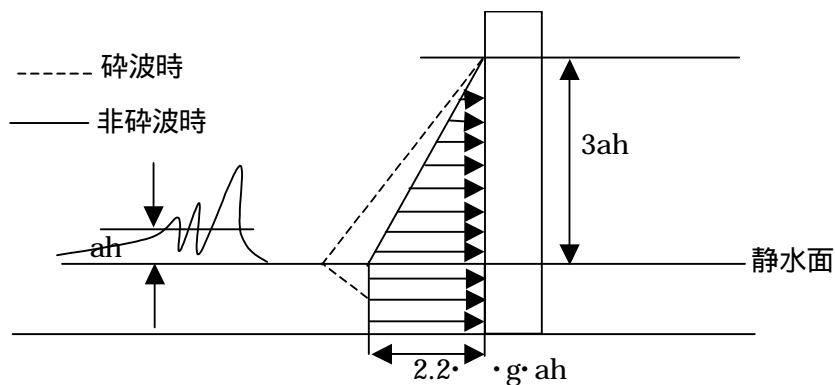


図 3-10 池野らによる波圧分布¹³⁾

(参考) 波圧に関して、道路橋示方書¹⁴⁾に、防波堤全体に受ける平均波力を表す広井公式に基づく波圧算定式(3-6)が示されている。

$$\eta = 1.25H_0 \quad (3-6)$$

$$p = 1.5wH_0$$

η : 波圧強度が作用する高さ(m)

H_0 : 沖波の波高(m)

p : 碎波の波力(kN/m²)

w : 海水の単位重量(kN/m³)

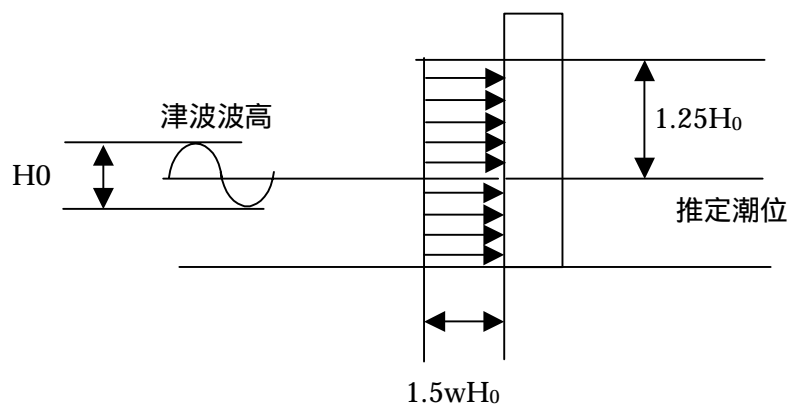


図 3-11 広井公式による波圧分布¹⁴⁾

ただし、波圧は、河中・湖中等に設けられている橋脚に関しては、水深が浅いことから無視してよいと記述されている。

注意

- ・ 津波高(最大偏差)：推定潮位より実潮位が高い場合の偏差の最大値(式(3-4)、式(3-5))
- ・ 津波波高：推定潮位(C.D.L.)を負側から正側へ津波波形が横切る点から次に横切る点までを一つの波として、その間の最高水位と最低水位の差(式(3-3)、式(3-6))

3.2.2 掃流・洗掘

津波の掃流について、安政東海地震津波における伊豆半島入間の場合での移動床混合砂モデルによる土砂移動の再現可能性が浅井ら¹⁵⁾により検討され、堆積量は土砂移動の観点から良好な結果が得られること、算出に用いた地形に問題があること、最大濃度に検討が必要なことが示されている。図 3-12 に移動床混合砂モデルの掃流層と浮遊層に分離した微小区間モデルを示す。

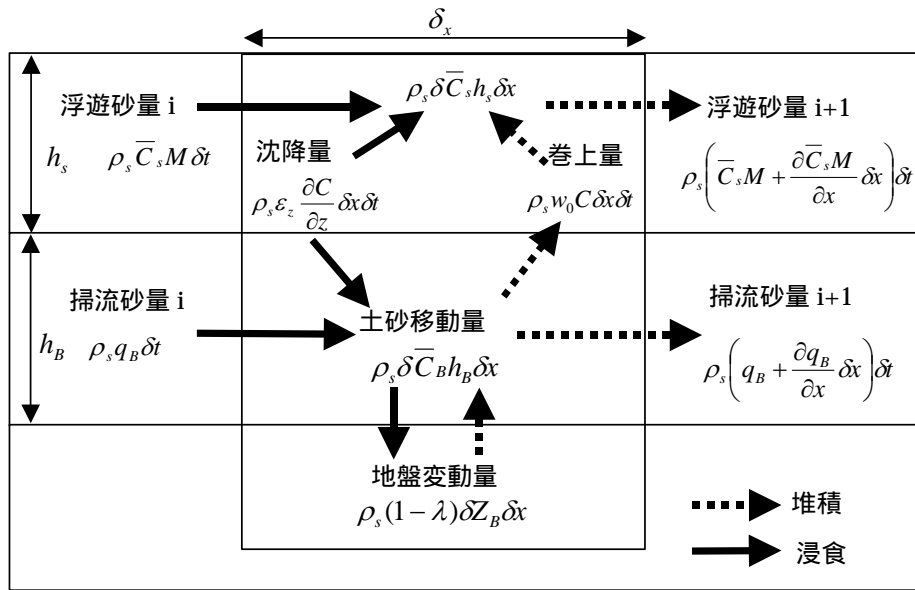


図 3-12 移動床混合砂モデル (浅井ら¹⁵⁾)

洗掘について、橋脚による局所洗掘に関して、水理公式集¹⁶⁾に、一様粒径での最大洗掘深さと橋脚幅について式(3-7)の関係式が示され、既往の研究の推定式が表 3-9 の通り示されている。

$$\frac{Z_s}{D} = f\left(N_s, \frac{d}{D}, \frac{h_0}{D}, S\right) \quad (3-7)$$

Z_s : 一様粒径の場合の最大洗掘深さ

D : 橋脚幅

N_s : sediment数 ($\equiv \frac{u_0}{\sqrt{(\sigma/\rho - 1)gd}}$)

u_0 : 橋脚の影響を受けない断面での平均流速

h_0 : 平均水深

σ : 砂の密度

d : 砂粒粒

ρ : 水の密度

S : 橋脚形状に関する係数

表 3-9 平衡洗掘深さの推定式 (水理公式集¹⁶⁾)

研究者	推定式	備考
Andru(1956)	$\frac{Z_s}{h_o} = 0.8$	
Laursen(1960)	$\frac{D}{h_o} = 5.5 \frac{Z_s}{h_o} \left\{ \left(\frac{Z_s}{11.5h_o} + 1 \right)^{1.7} - 1 \right\}$ $\frac{D}{h_o} = 5.5 \frac{Z_s}{h_o} \left\{ \frac{\left(\frac{Z_s}{11.5h_o} + 1 \right)^{7/6}}{(\tau_* / \tau_{*c})^{1/2}} - 1 \right\}$	動的平衡 静的平衡 (河川実測値に基づく算出式)
Neil(1965) Cunha(1970)	$\frac{Z_s}{D} = k \left(\frac{h_o}{D} \right)^{0.3}$	方形 K=1.5 円形 K=1.35
Tarapore(1962)	$\frac{Z_s}{D} = 1.35 \quad \frac{h_s}{D} > 1.15$ $\frac{Z_s}{h_o} = 1.17 \quad \frac{h_o}{D} > 1.15$	
Larras(1963)	$Z_s = 1.05KD^{0.75}$	円形 K=1.0 方形 K=1.4
Breusers(1965)	$Z_s = 1.4D$	円形
Carstens(1966)	$\frac{Z_s}{D} = 0.546 \left\{ \frac{N_s^2 - N_{sc}^2}{N_s^2 - (2N_{sc})^2} \right\}^{3/4}$	動的平衡
Shen(1969)	$Z_s = 0.0022R_e^{0.619} (\text{m - 単位})$	$R_e = \frac{u_o D}{\nu}$
小川(1966) 齊藤・浦・柴田(1969) 吉川・福岡(1971)	$\frac{Z_s}{h_o} = f(F_r)$	$F_r = \frac{u_o}{\sqrt{gh}}$
中川・鈴木(1974)	$Z_{sd} = h_o \quad h_o < D$ $\frac{Z_{sd}}{D} = 3.4 - 0.9 \log_{10} \frac{D}{d} \quad h_o > D$ $\frac{Z_{sd}}{D} = \left(\frac{2N_s}{N_{sc}} - 1 \right) \frac{Z_{sd}}{D}$	動的平衡 静的平衡
土木研究所(1974)	$\frac{Z_s}{D} = f \left(F_r, \frac{h_o}{D}, \frac{h_o}{d} \right)$	$F_r = \frac{u_o}{\sqrt{gh}}$ (実験結果)

3.2.3 浮力・揚圧力

水面付近の水平板に作用する揚圧力に関して、港湾の施設の技術上の基準・同解説¹⁰⁾に、合田らによるカルマンの理論をもとにした重複波による揚圧力の算定式(3-8)が示されている。

$$P = \zeta \frac{\rho_0 g}{4} HLB \tanh \frac{2\pi h}{L} \left(\frac{H}{s'} - \frac{s'}{H} \right) \quad (3-8)$$

$$s' = s - \pi \frac{H^2}{L} \coth \frac{2\pi h}{L}$$

$$\tau = \frac{\pi T l^2}{L^2} \frac{s'}{\sqrt{H^2 - s'^2}}$$

p: 全揚圧力 (kN)

ξ : 補正係数

ρ_0 : 海水の密度 (t/m³)

g: 重力加速度 (m/s²)

H: 進行波の波高 (m)

L: 進行波の波長 (m)

B: 幅員 (m)

h: 水深 (m)

τ : 継続時間 (s)

T: 波の周期 (s)

l: 水平板の長さ (m)

s: 静水面上のクリアランス(m)

s': 波高中分面上(波の峰と波との高さを2等分する面)のクリアランス(m)

水平板の長さを1とし、 $\xi = 1.0$ とした場合 $\frac{H}{s'} \leq 2$ で使用する。

栈橋に働く揚圧力に関して、港湾の施設の技術上の基準・同解説¹⁰⁾に、伊藤、竹田らによる栈橋模型実験を基にした重複波による揚圧力の算定式(3-9)が示されている。

$$p = \rho_0 g (8H - 4.5S) \quad (3-9)$$

p: 揚圧力強度のピーク値の平均値 (kN/m²)

ρ_0 : 海水の密度 (t/m³)

g: 重力加速度 (m/s²)

H: 入射波高 (m)、Hmaxを想定

S: 潮位から渡板下面までの距離 (m)

デタッチド・ピア(陸岸から離れた杭式の構造物の上に、クレーンなどの荷役機械の軌条を設けた係留施設)に働く進行波による揚圧力に関して、港湾の施設の技術上の基準・同解説¹⁰⁾に、伊藤、竹田らによるデタッチド・ピア模型の床板に発生する応力を測定し、実験結果の上限値から、等分布の等価荷重の算定式(3-10)が示されている。

$$p = 2\rho_0 g H \quad (3-10)$$

p: 揚圧力強度の等分布の等価荷重 (kN/m²)

ρ_0 : 海水の密度 (t/m³)

g: 重力加速度 (m/s²)

H: 入射波高 (m)、Hmaxを想定

津波被害が予想される沿岸域での津波避難ビルに対する浮力に関して、津波に対する

構造物の構造設計法(素案)¹¹⁾に浮力算定式(3-11)が示されている。

$$Q_z = \rho g V \quad (3-11)$$

Q_z : 浮力(kN)

ρ : 水の密度(t/m^3)

g : 重力加速度(m/s^2)

V : 津波に浸かった建築物の体積(m^3)

3.2.4 漂流物衝突力

砕波段波による流木の縦衝突を基本とし、実験で得られた衝突力特性に基づく流木の衝突水平力の算定式(3-12)が、松富ら¹⁷⁾によって提案されている。

$$\frac{F_H}{gM} = \frac{6.4}{\pi} C_{MA} \left[\frac{V_H}{\sqrt{gD}} \right]^{1.2} \left[\frac{\sigma_f}{\gamma_D L} \right]^{0.4} \quad (3-12)$$

F_H : 流木の衝突力

V_H : 流木の衝突前の移動速度

D : 流木の直径

L : 流木の長さ

C_{MA} : 見かけの質量定数

= 1.7 (開度 $\lambda \geq 40\%$)

= 0.03 λ + 0.3 (開度 $\lambda < 40\%$)

開度: 受波圧壁の空隙面積の割合

M : 流木の質量

$$M = \frac{1}{4} \rho_D \pi D^2 L$$

ρ_D : 流木の密度 (= 600kg/m³)

γ_D : 流木の単位面積重量 (= $\rho_D g$)

σ_f : 流木の降伏応力 (= 19.6MP_a)

g : 重力加速度

砕波段波による各種形状漂流物による衝突力・衝突応力式(3-13)が、貯水タンクのゲート開放実験より、池野ら¹³⁾によって提案されている。

$$\frac{F_H}{gM} = 20 C_{MA} \left[\frac{V_H^2}{g} \right]^{1.25} \left[\frac{1}{DL} \right]^{0.625} \quad (3-13)$$

$$\frac{\sigma_H}{gM'} = 20C_{MA} \left[\frac{V_H^2}{g} \right]^{1.25} \left[\frac{1}{DL} \right]^{0.625}$$

$$V_H \cong C_H = \sqrt{\frac{g(a_H + h)(a_H + 2h)}{2(a_H + h - \kappa \cdot a_H)}}$$

F_H : 漂流物の衝突力 (N)

g : 重力加速度 (m/s^2)

M : 漂流物の重量 (t)

C_{MA} : 見かけの質量係数 (= 0.5)

D : 漂流物の代表高さ (m)

L : 漂流物の代表長さ (m)

V_H : 漂流物の衝突前の移動速度 (m/s)、近似的に段波の波速 とする。

C_H : 段波の波速 (m/s)

σ_H : 漂流物の衝突応力 (N)

M' : 漂流物の単位奥行き当たりの質量

κ : 抵抗係数 (例えば 0.12)

(参考) 衝突力に関して、道路橋示方書¹⁴⁾に、流木その他の流送物の衝突を想定した衝突力算定式(3-14)が示されている。

$$P = 0.1 \cdot W \cdot v \tag{3-14}$$

P : 衝突力(kN)

衝突力は、水面位置に作用させる

W : 流送物の重量 (kN)

v : 表面流速(m/s)

3.3 津波外力により想定される被災形態

2.3 節に示した構造物の被災シナリオから、津波外力により想定される道路施設の被災形態を網羅的に示すと表 3-10、図 3-13 のようになる。

表 3-10 津波外力により想定される道路施設の被災形態（ロングリスト）

		切土・盛土	橋梁			付帯施設
			橋台	橋脚	橋桁	
津波外力	波力・波圧	円弧すべりの発生	波圧による移動	波圧による破壊	波圧による移動破壊	波圧による機能停止
	掃流力	円弧すべりの発生	局部洗掘による損失	局部洗掘による損失	掃流力による落橋	洗掘による機能停止
	浮力・揚圧力				浮力・揚圧力による浮上・移動	
	漂流物衝突	衝突による法面破壊	衝撃力による破壊、移動	衝撃力による破壊、移動	衝撃力による破壊、移動	衝撃力による破壊、移動
浸水	浸水	溜水				浸水による機能停止
被災度	大	流出による通行止め	流出による通行止め	流出による通行止め	流出による通行止め	
	中	沈下・段差の発生	沈下・段差の発生			
	小	浸水による通行止め堆積物による通行障害			堆積物による通行障害	付帯施設の停止による通行支障

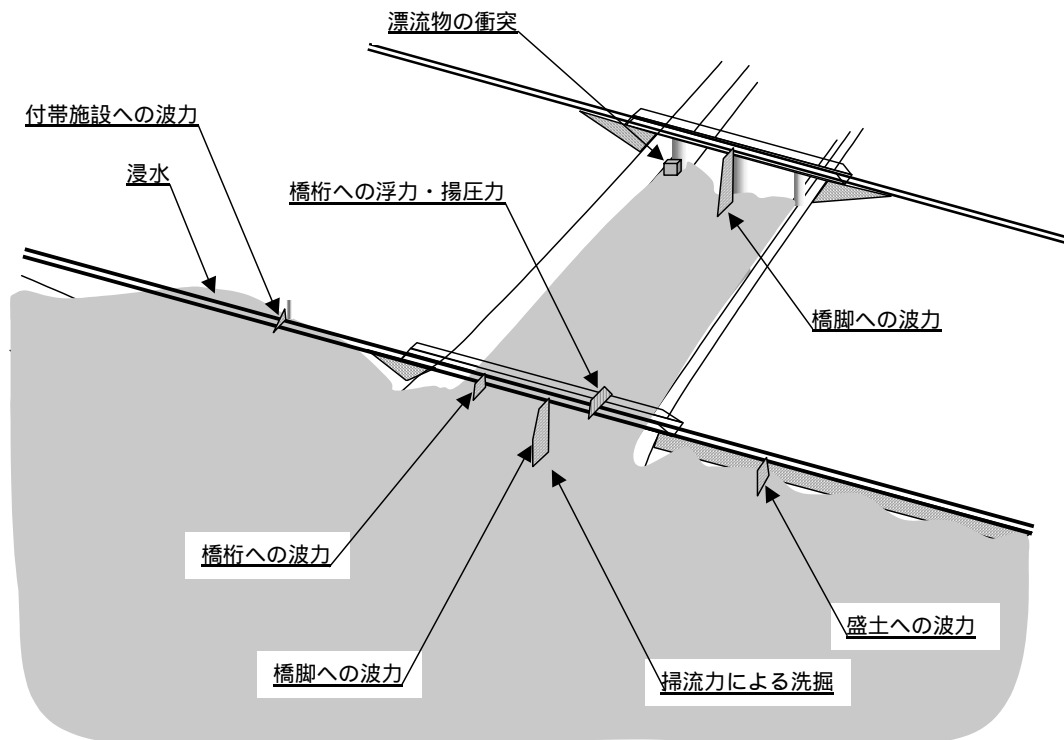
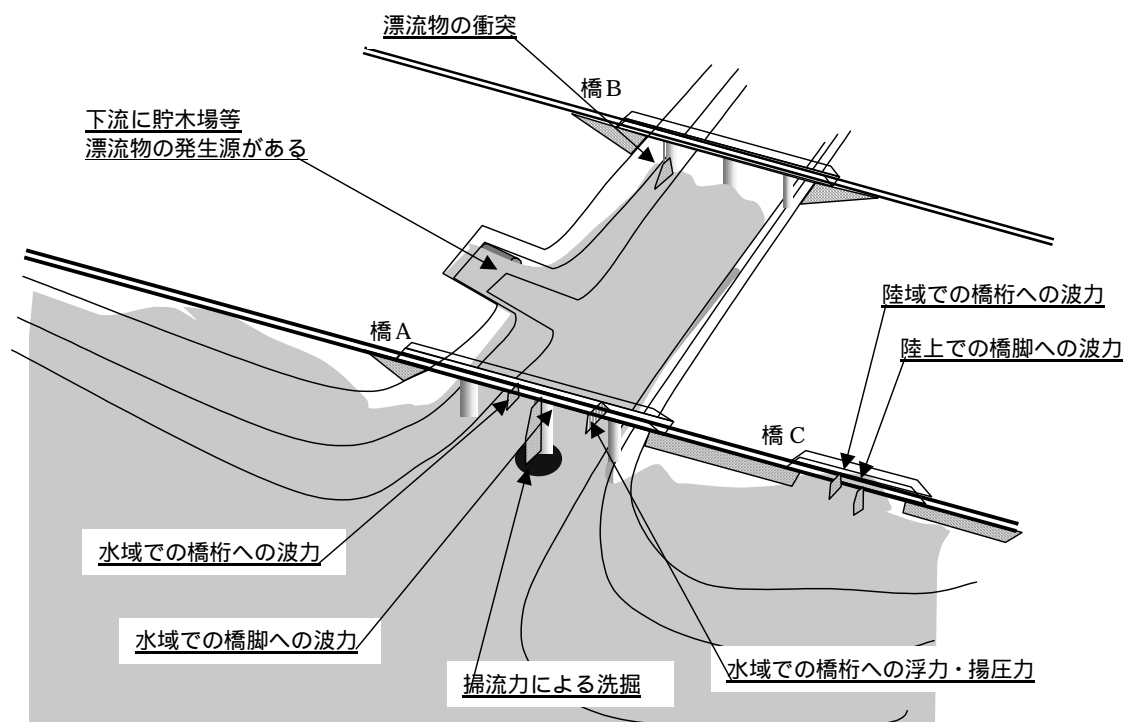


図 3-13 津波外力により想定される道路施設被害

3.4 橋梁の被災度評価フロー

本節ではこれまでの結果を総合し、比較的構造物諸元が把握しやすく、大被害を受けると迅速な復旧が困難となる橋梁を例として、津波による被災度の評価フローを検討する。

前節の図表において、津波による橋梁の被災として、伝播した津波の波力・浮力・揚圧力による破壊もしくは転倒、津波により発生した漂流物の衝突による破壊、津波の流れによる洗掘等を想定した。図 3-14 に橋梁での被災発生箇所と評価項目について示す。



橋 A～C の評価項目

	架設場所	橋脚	津波高さ	上部工		下部工		衝突		洗掘
				波力	浮力・揚圧力	波力	転倒	上部	下部	
橋A	河口付近(水域)	有り	上部工位置以上					×	×	
橋B	河川内(水域)	有り	上部工位置を越えない	×	×			×		×
橋C	浸水地域内(陸上)	有り	上部工位置以上					×	×	×

図 3-14 橋梁での津波被害

橋梁の被災度評価では、図 3-14 のような橋梁を想定する。表 3-11 に評価項目と使用する評価式を示す。なお、表 3-11 の評価式は、表 3-8 の既往検討調査に基づいて選択した。また、表 3-12 に各評価式で推定する際に必要な緒元を示す。

また、橋梁の被災度評価は、津波の浸水高さと橋梁の高さの比較、津波流速と河川高水位流速の比較、漂流物の発生源、橋梁の架設位置（水域、陸域）等を考慮して行う、図 3-15 に評価を行う際のフローを示す。

表 3-11 橋梁の被災度評価項目

津波外力	評価項目	評価式	備考
波力	上部工の評価	(水域) 合田式 ¹⁰⁾	津波高さが上部工位置まで達した場合のみ上部工に対する評価を行う。 転倒は、上部工・下部工評価で推定された波力を用いて評価を行う。 水域では、港湾の施設の技術上の基準・同解説に基づき合田式を採用した。 陸域では、津波に対する構造物の構造設計法(素案)に基づき朝倉らの推定式を採用した。
		(陸上) 朝倉ら ¹²⁾	
	下部工の評価	(水域) 合田式 ¹⁰⁾	
		(陸上) 朝倉ら ¹²⁾	
	橋脚転倒に対する評価	上部工・下部工の評価を使用	
浮力・揚圧力	上部工の評価	(浮力) 津波に対する構造物の構造設計法(素案) ¹¹⁾	津波高さが上部工位置まで達した場合のみ上部工に対する評価を行う。 浮力は、津波に対する構造物の構造設計法(素案)に基づき朝倉らの推定式を採用した。 揚圧力は、橋梁と形状の似ている伊藤、竹田らによるデタッチド・ピアモデルでの推定式を採用した。
		(揚圧力) 伊藤、竹田ら ¹⁰⁾	
衝突荷重	上部工の評価	(衝突力) 池野ら ¹³⁾	橋梁下部に漂流物の発生源がある場合に評価を行う。 津波高さが上部工位置まで達した場合のみ上部工に対する評価を行う。 原子力発電所の津波評価技術でレビューされている池野の推定式を採用した
	下部工の評価	池野ら ¹³⁾	
洗掘	洗掘の評価		津波流速が高水位流速を越えた場合に評価を行う。 現状では、評価に適切な津波高(津波流速)と洗掘深さとの関係式が無いため、洗掘に対する道路防災総点検の評点を用いて評価とした。

表 3-12 橋梁の被災度評価に用いる諸元

項目		備考
津波諸元	津波高さ(浸水深さ)	津波伝播・遡上計算により算出する
	津波流速	津波伝播・遡上計算により算出する
河川諸元	高水位流速	津波流速との比較
橋梁諸元	位置	緯度・経度など
	架橋位置特性	陸域・水域など
	橋長	
	幅員	
	橋梁高さ	
上部工諸元	桁高	
	桁下高	
	上部工重量	
	設計水平震度	
下部工諸元	橋脚重量	
	断面寸法	
衝突に関して	流域図	
	衝突物の代表的な大きさ	
洗掘に関して	道路防災点検結果	洗掘に関する点検結果

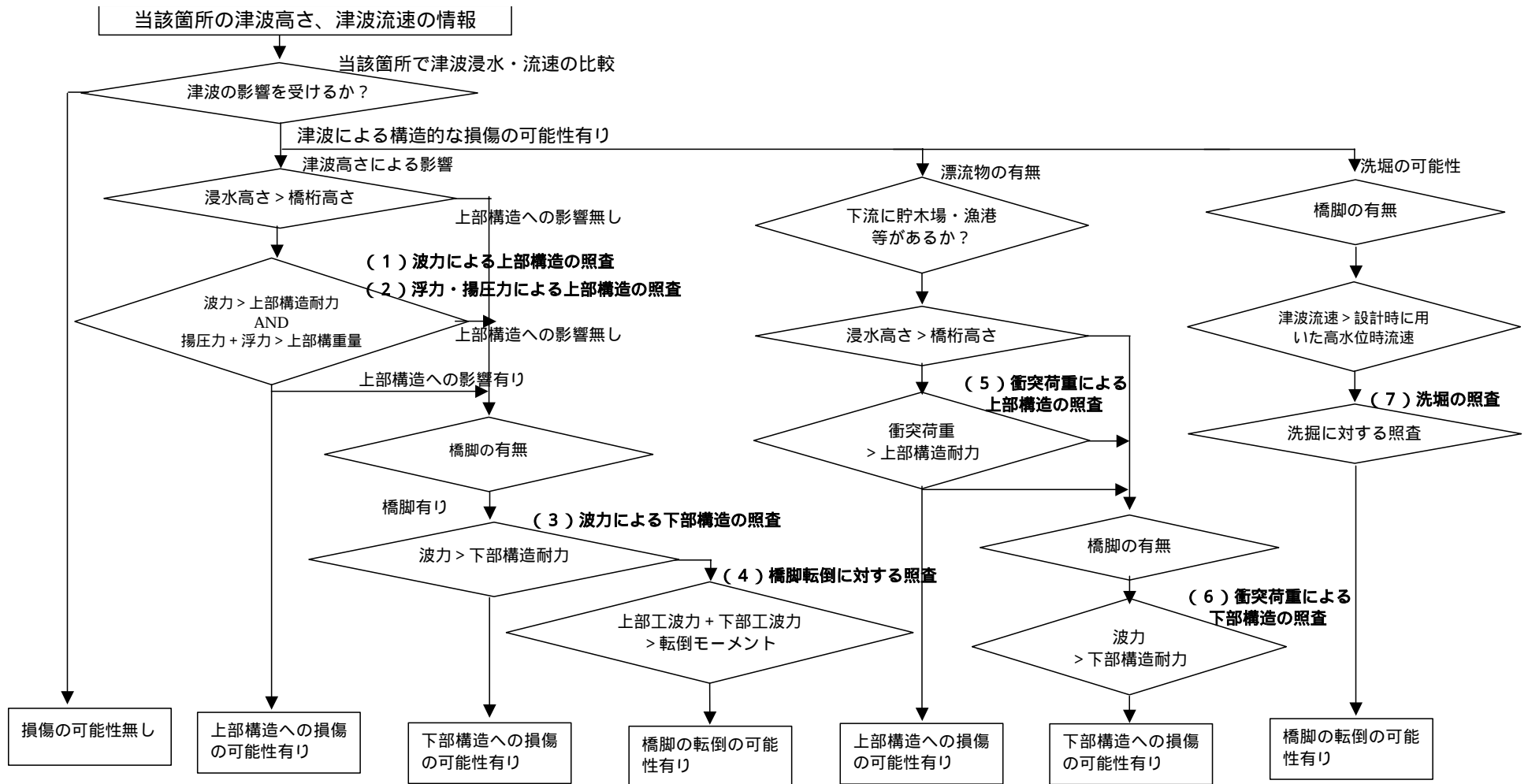


図 3-15 津波による橋梁の被災度判定フロー

(1) 波力による上部工の照査

上部工の位置まで津波が上がってきた場合 (= 上部工が津波に浸かった場合)、橋梁の上部構造の耐力 Hu と上部構造にかかる津波波力 Qu とを比較し、津波波力による上部構造の被災の有無を判定する。 $Qu > Hu$ の場合に上部構造に損傷の可能性がある。

1) 上部工の耐力

上部工の耐力は、道路橋示方書¹⁴⁾の記述に基づき、式(3-15)から算出する。

$$Hu = Wu \times K_hu \quad (3-15)$$

Hu : 上部工耐力(kN)

Wu : 上部工重量(kN)

K_hu : 設計水平震度

2) 上部工への津波波力

上部工への津波波力は、橋梁が水域(河川・海岸)にある場合と、陸上にある場合にわけて算出する。

A. 橋梁位置が水域の場合

海中での上部構造への津波波力は、港湾の施設の技術上の基準・同解説の記述¹⁰⁾に基づき、式(3-16)を波力の作用する範囲で積分し式(3-17)で算出する(図 3-16)。

$$\begin{cases} qx = 1.1\rho_0 g(H)(0 < z < WL) \\ qx = 1.1\rho_0 g\left(H - \frac{1}{1.5}z\right)(z > WL) \end{cases} \quad (3-16)$$

qx : 津波の波圧(kN/m^2)

ρ_0 : 海水の密度(t/m^3) = $1.03t/m^3$

g : 重力加速度(m/s^2) = $9.8m/s^2$

H : 津波高(≈ 浸水高×2.0)(m)

z : 波圧を求める位置(m)

WL : 水面の高さ(m)

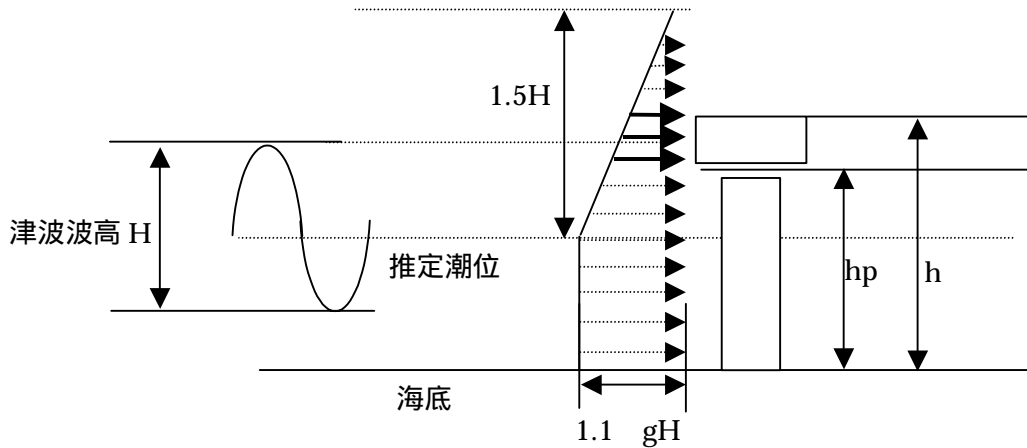


図 3-16 上部工への波力作用範囲

$$\begin{aligned}
 Qu &= 1.1\rho_0 gB \left(\int_{h_p}^h \left(H - \frac{1}{1.5}z \right) dz \right) & (3-17) \\
 &= 1.1\rho_0 gB \left\{ \left(Hh - \frac{1}{3}h^2 \right) - \left(Hh_p - \frac{1}{3}h_p^2 \right) \right\} \quad (h < wl)
 \end{aligned}$$

Qu : 津波の波力 (KN)

ρ_0 : 海水の密度 (t/m^3)

g : 重力加速度 (m/s^2)

H : 津波高 (\approx 浸水高 $\times 2.0$) (m)

h_p : 橋脚の高さ (m)

h : 上部工までの高さ (m)

B : 橋桁の波圧を受ける前 部幅 (m)

B. 橋梁位置が陸上の場合

陸上での上部構造への津波波力は、津波に対する構造物の構造設計法 (素案)¹¹⁾の記述に基づき、式 (3-18) を波力の作用する範囲で積分し式 (3-19) で算出する (図 3-17)。

$$qx = \rho_0 g (3H - z) \quad (3-18)$$

qx : 津波の波圧 (KN/m^2)

ρ_0 : 海水の密度 (t/m^3) = $1.03t/m^3$

g : 重力加速度 (m/s^2) = $9.8m/s^2$

H : 津波高 (\approx 浸水高 $\times 2.0$) (m)

z : 波圧を求める位置 (m)

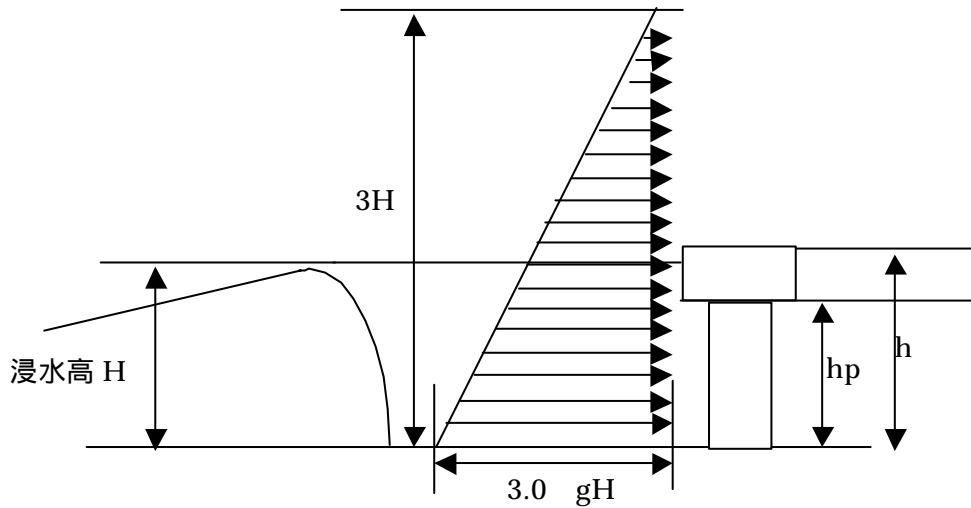


図 3-17 上部工への波力作用範囲

$$Qu = \rho_0 g B \int_{h_p}^h (3H - z) dz = \frac{1}{2} \rho_0 g B \{ (6Hh - h^2) - (6Hh_p - h_p^2) \} \quad (3-19)$$

Qu : 津波の波力 (KN)

ρ_0 : 海水の密度 (t/m^3)

g : 重力加速度 (m/s^2)

H : 津波高 (\approx 浸水高 $\times 2.0$) (m)

h_p : 橋脚の高さ (m)

h : 上部工までの高さ (m)

B : 橋桁の波圧を受ける前 部幅 (m)

(2) 浮力・揚圧力による上部構造の照査

上部工の位置まで津波が上がってきた場合 (= 上部工が津波に浸かった場合)、橋梁の上部構造重量 W_u と上部構造にかかる浮力 Q_z + 揚圧力 Q_y とを比較し、津波浮力・揚圧力による上部構造の被災の有無を判定する。 $Q_z + Q_y > W_u$ の場合に上部工に損傷の可能性はある。

1) 上部構造重量

上部構造重量 W_u (KN) は、(1) で用いた値を用いる。

2) 浮力・揚圧力

浮力は、津波に対する構造物の構造設計法 (素案)¹¹⁾ の記述に基づき、式 (3-20) を用いる。

$$Q_z = \rho_0 g V = \rho_0 g A h \quad (3-20)$$

Q_z : 浮力(kN)

ρ_0 : 海水の密度(t/m^3) = 1.03 t/m^3

g : 重力加速度(m/s^2) = 9.8 m/s^2

V : 津波に浸かった構造物の体積(m^3)

A : 上部構造の下部面積(m^2)

h : 上部構造の浸水深(m)

揚圧力は、港湾の施設の技術上の基準・同解説¹⁰⁾に基づき、伊藤、竹田らによるデタッチド・ピアの模型実験を基にした進行波による揚圧力の等価荷重を評価する式(3-21)を用いる。

$$p = 2\rho_0 g H \quad (3-21)$$

p : 揚圧力強度のピーク値の平均値(kN/m^2)

ρ_0 : 海水の密度(t/m^3)

g : 重力加速度(m/s^2)

H : 入射波高(m)、 H_{max} を想定

$$Q_y = AP = 2A\rho_0 g H$$

Q_y : 揚圧力(kN)

A : 上部構造の下部面積(m^2)

(3) 波力による下部構造の照査

下部構造は、水平耐力 P_y と下部構造にかかる津波波力 Q_d とを比較する。 $Q_d > P_y$ の場合に下部構造に被災の可能性がある。

1) 下部構造の水平耐力

水平耐力は、設計図面に基づき算出を行うことが望ましいが、設計図面が無い場合には、「即時震害予測システム(SATURN)の開発」¹⁸⁾の手法に基づき行うことも可能である。

「即時震害予測システム(SATURN)の開発」¹⁸⁾の手法に基づく水平耐力(=橋脚の降伏耐力 p_y)の算出手法を以下に示す。この手法で必要となる値は、設計年度、橋脚の断面積、橋脚高、橋脚重量、上部工重量となる。

$$P_y = (W_u + 0.5W_p) * K_h y \quad (3-22)$$

P_y :降伏耐力 (KN)
 W_u :上部工重量 (KN)
 W_p :橋脚重量 (KN)
 K_{hy} :降伏震度

$$K_{hy} = \beta \times T_y^\gamma \quad (3-23)$$

$$T_y = 2.01 \times ((W_u + 0.3W_p) / K_y)^{1/2}$$

$$K_y = \alpha \times K_0$$

K_{hy} :降伏震度

T_y :等価固有周期 (s)

W_u :上部工重量 (KN)

W_p :橋脚重量 (KN)

K_y :降伏剛性 (KN / m)

K_0 :初期剛性 (KN / m)

α :初期剛性と降伏剛性の回帰式 ($K_y = \alpha K_0$) より求めた回帰係数

回帰係数は、橋梁の耐震基準レベルに応じて下表より求める。

β, γ :等価固有周期と降伏震度の回帰式 ($k_{hy} = \beta T_y^\gamma$) より求めた回帰係数

回帰係数は、橋梁の耐震基準レベルに応じて下表より求める。

表 3-13 回帰係数¹⁸⁾

耐震基準	橋軸方向			橋軸直角方向		
S55年以前	0.39	0.23	-0.463	0.36	0.23	-0.857
S55道路橋示方書	0.39	0.25	-0.328	0.30	0.26	-0.796
H2道路橋示方書	0.39	0.25	-0.277	0.32	0.22	-0.952
復旧仕様	0.39	0.28	-0.240	0.39	0.24	-0.925
復旧仕様 (B種)	0.39	0.26	-0.300	0.35	0.26	-0.801
H8道路橋示方書	0.41	0.33	-0.484	0.41	0.32	-0.611

$$K_0 = \frac{3EI}{h^3} \quad (3-24)$$

E :コンクリート弾性係数 (KN / m²)

I :橋脚の断面 2 次モーメント (m⁴)

h :慣性力作用高 (m)

$$I = \frac{A \times h_p^2}{12} \quad (3-25)$$

I :橋脚の断面 2 次モーメント (m⁴)

A :橋脚の断面積 (m²)

h_p :橋脚の高さ (m)

2) 下部構造への津波波力

下部工への津波波力は、上部工の場合と同様、橋梁が水域（河川・海岸）にある場合と陸上にある場合にわけて算出する。

A. 橋梁位置が水中の場合

水中での下部構造への津波波力は、港湾の施設の技術上の基準・同解説¹⁰⁾に基づき、式(3-26)の波圧式（合田式）を波力の作用する範囲で積分し式(3-27)で算出する（図3-18）。

$$\begin{cases} qx = 1.1\rho_0 g(H) & (0 < z < WL) \\ qx = 1.1\rho_0 g(H - \frac{1}{1.5}z) & (z > WL) \end{cases} \quad (3-26)$$

qx : 津波の波圧 (KN/m^2)

ρ_0 : 海水の密度 (t/m^3) = $1.03t/m^3$

g : 重力加速度 (m/s^2) = $9.8m/s^2$

H : 津波高 (\approx 浸水高 $\times 2.0$) (m)

z : 波圧を求める位置 (m)

WL : 水面の高さ (m)

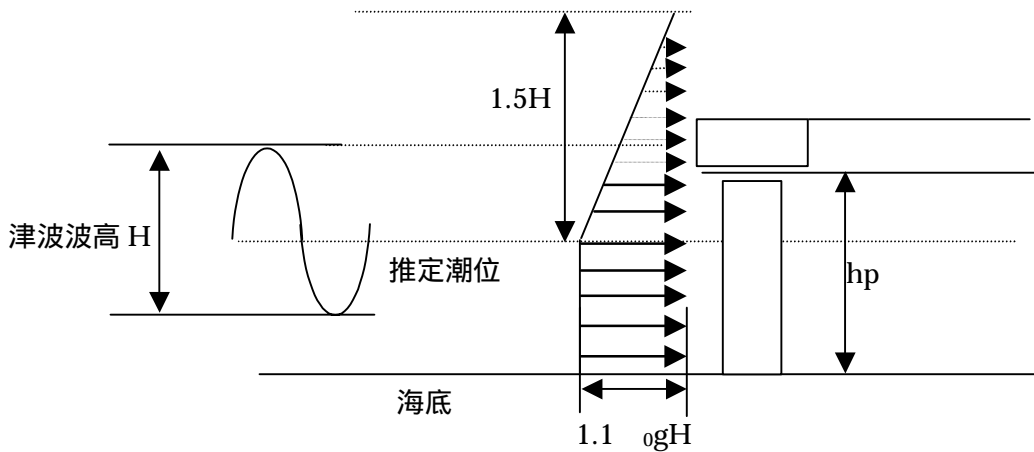


図 3-18 下部構造への波圧分布

$$\begin{aligned} Qd &= 1.1\rho_0 gB \left(\int_0^{WL} H dz + \int_{WL}^{hp} (H - \frac{1}{1.5}z) dz \right) \\ &= 1.1\rho_0 gB \left[(Hwl) + \left\{ (Hhp - \frac{1}{3}hp^2) - (Hwl - \frac{1}{3}wl^2) \right\} \right] \quad (0 < wl < hp) \end{aligned} \quad (3-27)$$

Qd : 津波の波力 (KN)
 ρ_0 : 海水の密度 (t / m^3)
 g : 重力加速度 (m / s^2)
 H : 津波高 (\approx 浸水高 $\times 2.0$) (m)
 h_p : 橋脚の高さ (m)
 B : 橋桁の波圧を受ける前 部幅 (m)

B. 橋梁位置が陸上の場合

陸上の上部構造への津波波力は、津波に対する構造物の構造設計法 (素案) ¹¹⁾ に基づき、式 (3-28) の波圧式を波力の作用する範囲で積分し式 (3-29) で算出する (図 3-19)。

$$qx = \rho_0 g (3H - z) \quad (3-28)$$

qx : 津波の波圧 (KN / m^2)
 ρ_0 : 海水の密度 (t / m^3)
 g : 重力加速度 (m / s^2)
 H : 浸水高 (m)
 z : 波圧を求める位置 (m)

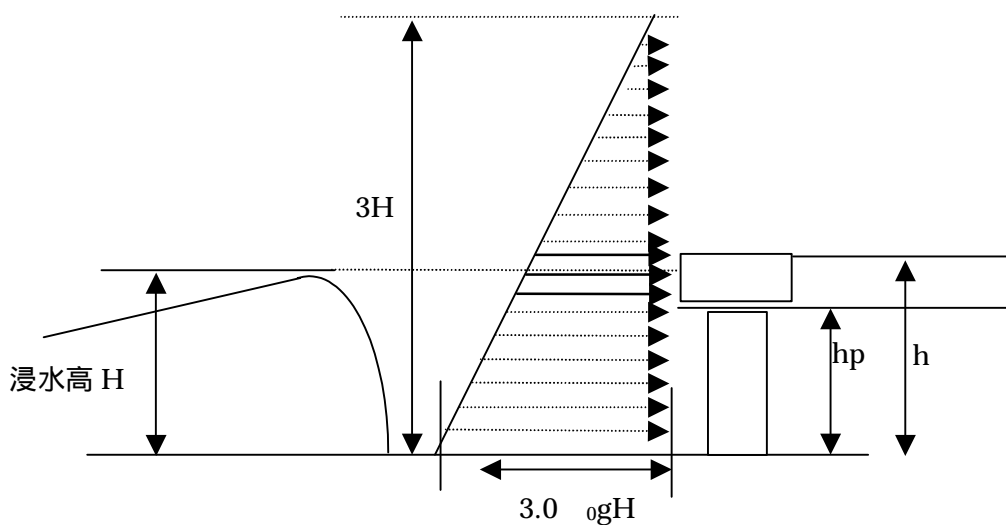


図 3-19 下部構造への波圧分布

$$Qd = \rho_0 g B \int_0^{h_p} (3H - z) dz = \frac{1}{2} \rho_0 g B \{6Hh_p - h_p^2\} \quad (3-29)$$

Q_d : 津波の波力 (KN)
 ρ_0 : 海水の密度 (t/m^3)
 g : 重力加速度 (m/s^2)
 H : 浸水高 (m)
 h_p : 橋脚の高さ (m)
 B : 橋桁の波圧を受ける前 部幅 (m)

(4) 橋脚転倒に対する照査

橋脚の基礎が直接基礎の場合、橋脚の転倒の照査を行う。橋脚の転倒可能性の照査では、橋脚の死荷重から算出される抵抗モーメント(式(3-30))と津波外力によって発生する転倒モーメント(式(3-31))とを比較する。直接基礎以外の杭基礎やケーソン基礎は、適用示方書の年次によらず、基礎本体より先に橋脚躯体に損傷が生じ、基礎の損傷により橋脚が転倒する可能性が低いと考えられるため、検討対象を直接基礎のみとした。 $M_T > M_R$ の場合に転倒の可能性がある。

1) 抵抗モーメント

$$M_R = (W_p + W_U) \times \frac{D}{2} \quad (3-30)$$

M_R : 抵抗モーメント(KN・m)
 W_p : 橋脚重量(KN)
 W_U : 上部工重量(KN)
 D : フーチングの橋軸直角方向の長さ(m)

2) 転倒モーメント

$$M_T = Q_u \times h_u + Q_d \times h_p \quad (3-31)$$

M_T : 転倒モーメント(KN・m)
 Q_u : 上部工への波力(KN)
 h_u : フーチング底面から上部工の射影面中心までの高さ
 Q_d : 下部工への波力(KN)
 h_p : フーチングの底面から橋脚の射影面の中心までの高さ

(5) 衝突荷重による上部構造の照査

橋梁の下流に貯木場・漁港・港湾等が存在し、漂流物が発生する恐れがあるとともに上部工の位置まで津波が上がって来る場合 (= 上部工が津波に浸かる場合)、漂流物の衝突に関する照査を行う。

漂流物の衝突に関する照査は、橋梁の上部構造の耐力 H_u と上部構造への衝突力 F_h とを比較し、津波波力による上部構造の被災の有無を判定する。 $F_h > H_u$ の場合に上部

構造に損傷の可能性がある。

1) 上部工の耐力

上部工の耐力 H_u (KN)は、(1)と同じ値を用いる。

2) 上部構造への衝突力

上部構造への衝突力 F_u (KN)は、池野ら¹³⁾による衝突力の記述に基づき式(3-32)を用いる。

$$F_h = gM \cdot 20C_{MA} \left[\frac{V_H^2}{g} \right]^{1.25} \left[\frac{1}{DL} \right]^{0.625} \quad (3-32)$$

$$V_H \cong C_H = \sqrt{\frac{g(a_H + h)(a_H + 2h)}{2(a_H + h - \kappa \cdot a_H)}}$$

F_u : 漂流物の衝突力(KN)

g : 重力加速度 (m/s^2)

M : 漂流物の重量 (t)

C_{MA} : 見かけの質量係数 (= 0.5)

D : 漂流物の代表高さ (m)

L : 漂流物の代表長さ (m)

V_H : 漂流物の衝突前の移動速度 (m/s)、近似的に段波の波速とする。

C_H : 段波の波速 (m/s)

σ_H : 漂流物の衝突応力 (N)

M' : 漂流物の単位奥行き当たりの質量

κ : 抵抗係数 (図3-20)

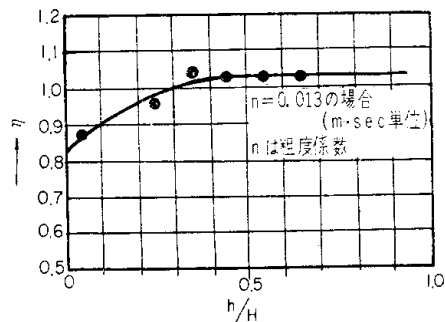


図 3-20 抵抗係数¹⁹⁾

(6) 衝突荷重による下部構造の照査

橋梁の下流に貯木場・漁港・港湾等が存在し漂流物が発生する恐れがある場合、橋梁の下部構造に対する漂流物の衝突に関する照査を行う。

漂流物の衝突に関する照査は、橋梁の下部構造の水平耐力 P_y と上部構造への衝突力

F_h とを比較し、津波波力による上部構造の被災の有無を判定する。 $P_y > H_d$ の場合に上部構造に損傷の可能性がある。

1) 下部工の水平耐力

下部工の水平耐力は、(3)と同じ値を用いる。

2) 下部構造への衝突力

下部構造への衝突力 F_u (KN)は、(5)と同じ値を用いる。

(7) 洗掘の照査

洗掘は、津波の影響範囲であり、更に津波流速が設計時の高水位流速を上回る範囲での照査を行う。

現状では、津波によって生じる洗掘が橋梁下部構造へおよぼす影響について、既往の調査成果、研究成果が乏しく力学的照査による検討を実施することはできない。

そこで橋脚洗掘に対しては、まず道路防災総点検における“橋梁基礎の洗掘に関する安定度評価”に近年の研究成果を反映し修正された安定度評価シート(図 3-21)に基づき検討を実施する。なお、洪水と津波では、流速、水位高、流向など、流水の状況が異なるため、防災総点検における配点および総合評価におけるランク分けについては津波外力に適応した値に修正する必要があると考えられる。これは今後の調査、実験、研究などによって補正すべきである。

点検者	
所属機関	

[河床・護岸の安定性]
(橋台[調査橋台:A])

要因	評価区分	配点	評点
河床勾配(急流河川である)	1/100 以上	5	
	1/100 未満	0	
架設年代	昭和 20 年以前	40	
	昭和 21 年～40 年	30	
	昭和 41 年以降	0	
最小径間長	10m 以下	15	
	10m 超 20m 以下	5	
	20m 超	0	
河積阻容率	7%以上	20	
	5%以上 7%未満	5	
	5%未満	0	
橋脚の構造	パイルベント	15	
	隔壁のないラーメン構造	15	
	該当しない	0	
幅員	5m 未満	0	
	5m 以上	0	
水深(H.W.時)	3m 未満	20	
	3m 以上	0	
合計		(A) (125～0)	点

[変状]
(橋台[調査橋台:A])

項目	評点区分	配点	評点
護岸の基礎の洗掘・変状	洗掘や変状が大きい	50	JIS 計 (a) max100
	洗掘や変状が見られる	30	
	変状なし	10	
護岸の変状	大きな変状が認められる	50	
	変状が見られるが小さい	30	
	変状なし	10	
護岸の堤防との取付部の沈下・変状	沈下や空隙などの変状が大	50	
	沈下や空隙などの変状が小	30	
	変状なし	10	
基礎形式	ケーソン基礎	0.8	(b)
	杭基礎	0.8	
	直接基礎	1.0	
	不明	1.0	
合計		(C)=a×b(100～24)	点

(橋脚[調査橋脚:P])

要因	評価区分	配点	評点
橋脚位置	水衝部または深掘れ部	10	
	その他	0	
架設年代	昭和 20 年以前	15	
	昭和 21 年～40 年	0	
	昭和 41 年以降	0	
最小径間長	10m 以下	30	
	10m 超 20m 以下	0	
	20m 超	0	
架台の設置位置	橋台が河川内に突出している	5	
	橋梁位置の川幅が上下流に比べて狭い	5	
	該当しない	0	
水深(平常時)	1m 未満	10	
	1m 以上	0	
架橋地点の地形	セグメント M	40	
	セグメント 1	0	
	セグメント 2, 3	20	
合計		(B) (125～0)	点

(橋脚[調査橋脚:P])

項目	評点区分	基礎形式		小計
		浅い基礎・不明	深い基礎	
基礎周辺河床の洗掘	洗掘なし	20	15	
	わずかな洗掘	50	40	
	フーチングまたは頂版上面の露出	90	75	
	フーチング下面露出	100	90	
	合計	(D)=a×b(100～15)	90	

[総合評価]

得点	ランク		
	(A)～(D)のうちの最大点	60 点以上	ランク I
点	60 点未満	ランク II	特に新たな対応を必要としない

図 3-21 橋梁基礎の洗掘に関する安定度評価