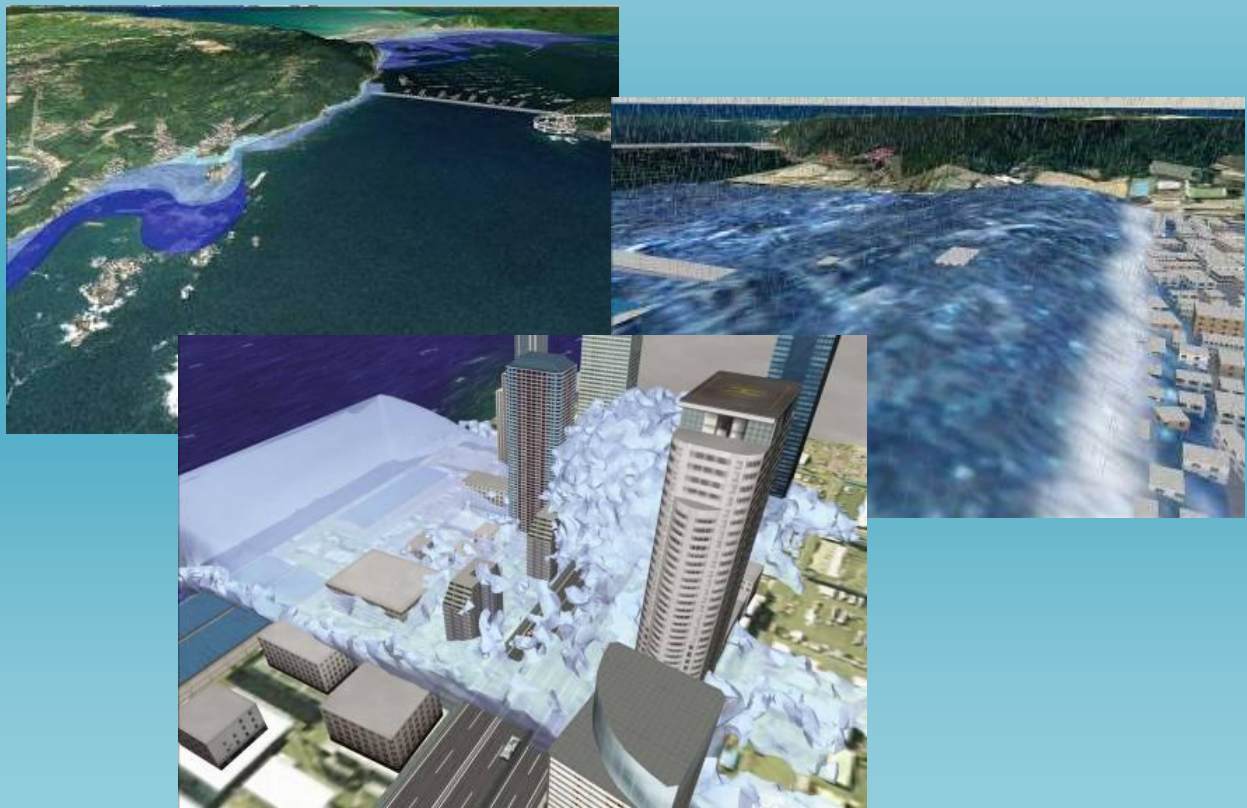


FORUM8 津波ソリューション (案)

2011年 4月 26日



目次

1	津波ソリューションの概要	1
1.1	目的	1
1.2	コンセプト	1
2	津波ソリューションの流れ	2
2.1	解析の選択	2
2.2	津波ソリューションの流れ	4
2.3	各ソリューションの位置付け	5
2.4	各ソリューション使用製品	6
2.5	津波被害の定量化	7
3	津波解析理論	8
4	出力例	9
5	必要資料	13
6	成果品	14

1 津波ソリューションの概要

1.1 目的

東日本大震災では、想定外の津波高のみでなく、地震による沿岸の地盤沈下等が更に津波被害を大きくし、また、津波の波力により構造物が破壊していく映像から、津波による被災の実態が把握されました。これらの教訓を今後の防災対策に活かすべき課題として、あらゆる事態を想定した津波解析の高度化が求められてくるといえます。

今回の津波被害から、地盤沈下や隆起等の地盤変位が生じた場合に、従来のような地形変位が無い状態での浸水深さではなく、地形変位を考慮した状態での浸水深で評価を行う必要があると考えられます。また、波力による破壊の影響から、防波堤等は決壊しないもとして想定されているものが決壊を想定したシミュレーション等の構造物破壊も重要になってきます。

これより、津波対策としては想定外の事象への対処へと大きな転換期を迎え、今後の津波解析の高度化が急務になってきていると言えます。

1.2 コンセプト

弊社 FORUM8 では、このような津波解析の高度化を図るため、従来の津波解析では考慮しない様々な影響因子の想定、更に、住民に対する津波リスクの認知や防災意識の向上を図るための津波の可視化を含む総合的津波ソリューション提供をコンセプトとしたトータルサポートの展開を計画します。

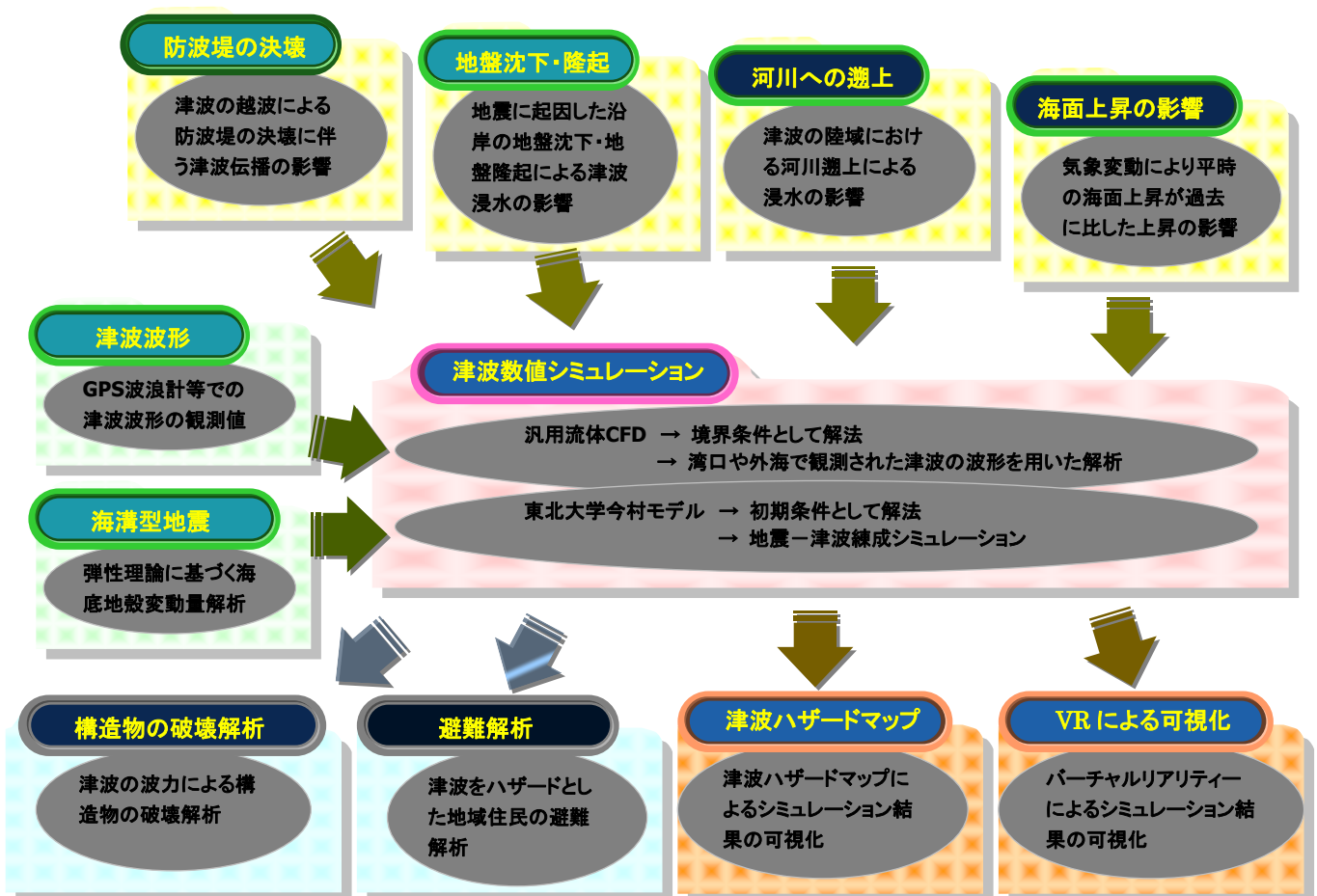


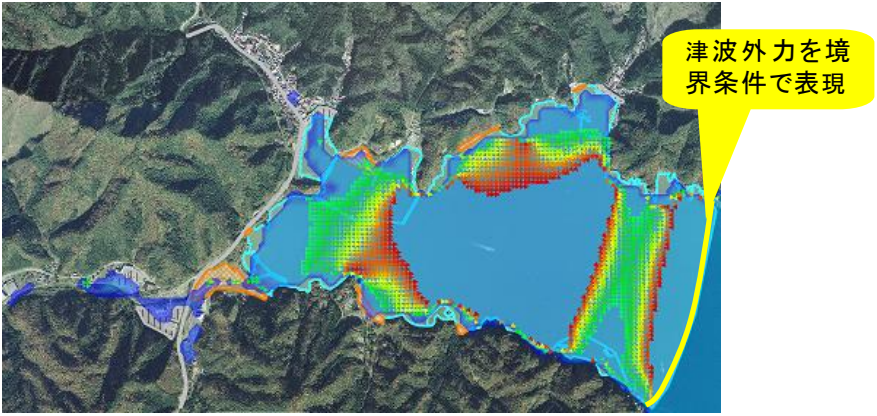
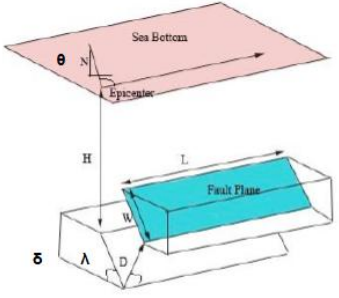
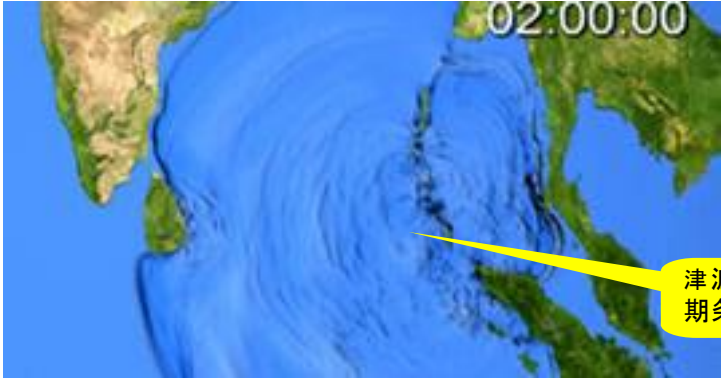
図 - 1 津波ソリューションのコンセプト図

2 津波ソリューションの流れ

2.1 解析の選択

まず、入力条件として、湾口や外海で観測された津波の波形の観測値を使うか、断層モデルを使って初期波形を地震情報から推定したものを使うかにより、津波解析において適用する解析コードを選定します。

表・1 解析コードの区分

解析コード	項目	概要
汎用 CFD (xpswmm)	津波外力条件	解析領域外で発生した津波の水位や流量フラックスの経時変化を解析領域の境界で入力する。
	入力条件	湾口や外海で観測された GPS 波浪計等の観測値の津波波形を境界条件として設定
	説明図	
	備考	想定津波高に対する陸域での遡上による浸水のシミュレーションや、痕跡水深等の実績を基に、津波規模の逆解析等に適用。
今村モデル	津波外力条件	領域内で津波を発生させる。
	入力条件	海底地殻変動量を解析して、その鉛直変位量から水面変位を初期条件として設定。 なお、理論的には初期波形を地震動から推定できるものの、一意的にこれらのパラメータを確定するのは困難であり、実績を基に逆解析により求めることもある。
	説明図	
	備考	
	備考	海域での津波伝播のシミュレーションによる影響範囲の検討等に適用。

解析コードにより、再現可能な現象が異なるので、目的に応じた選定を行います。

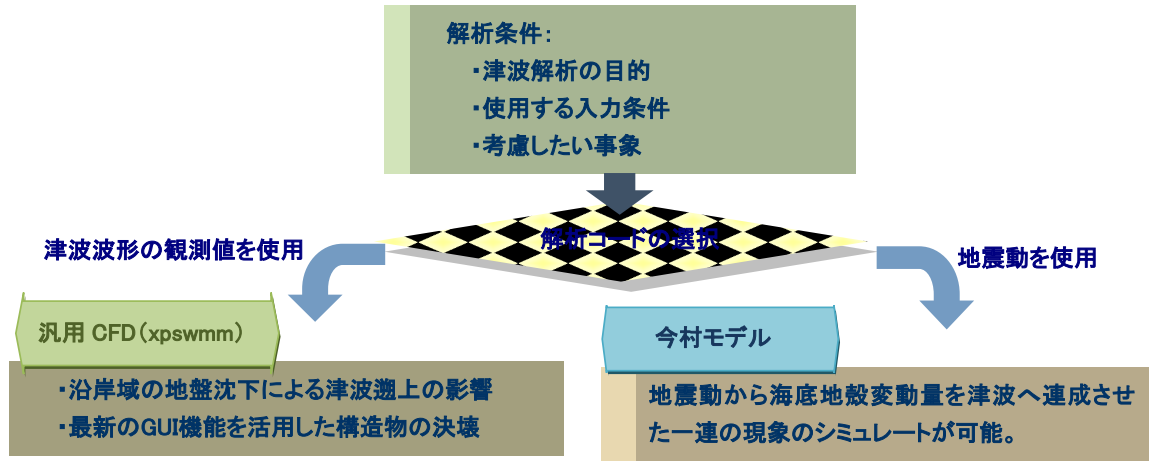


図 - 2 解析区分による解析コードの選択フロー

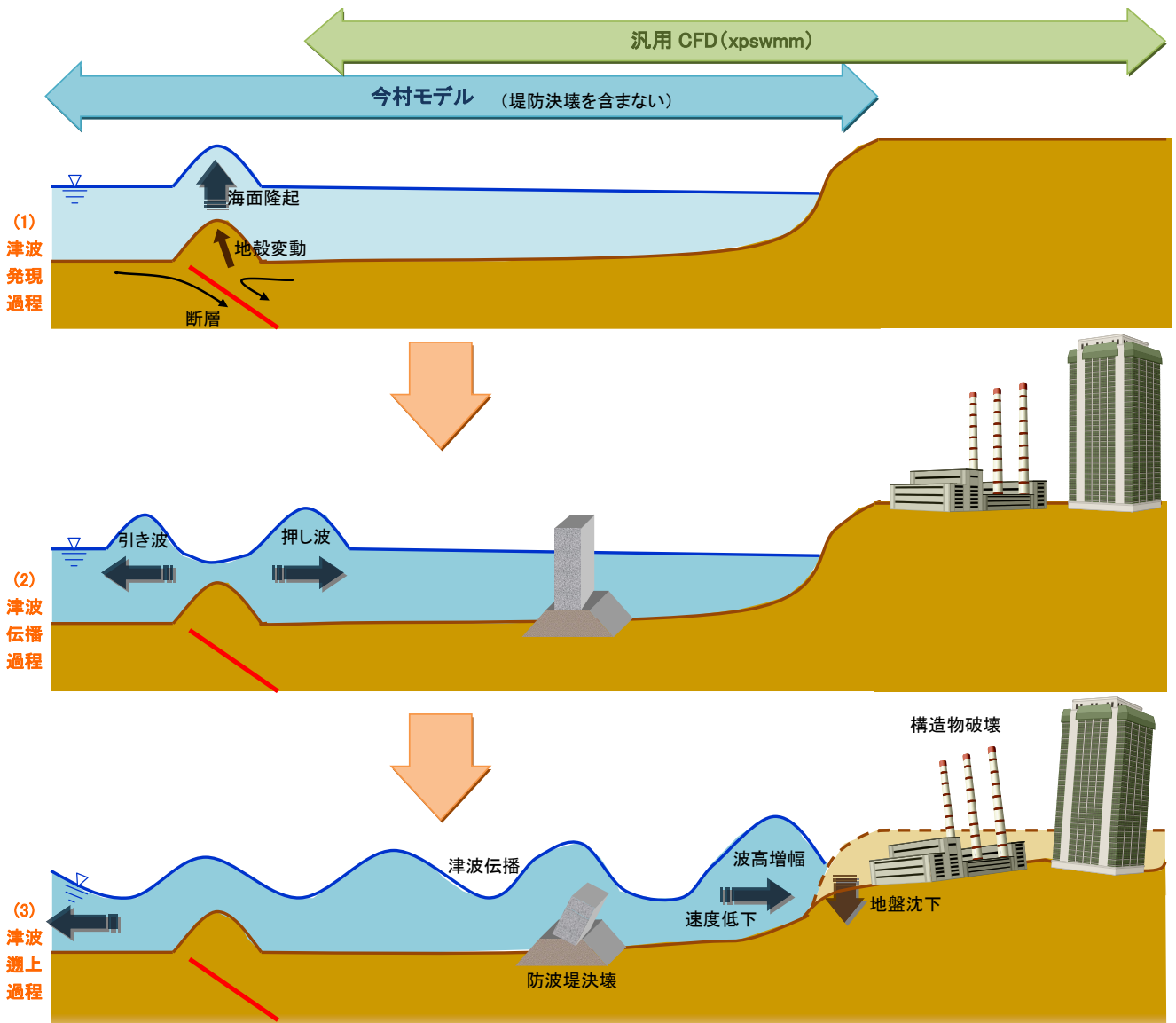


図 - 3 解析区分による解析コードの選択模式図

2.2 津波ソリューションの流れ

弊社 FORUM8 が総合サービスとして提供する津波ソリューションの流れを、図-4 に示します。

検討の目的となる津波対策の内容に応じて、解析コードを選択し、数値解析をインプットとした付加解析の実施や、ポスト処理として 2D ハザードマップの作成や 3D バーチャルリアリティを作成します。

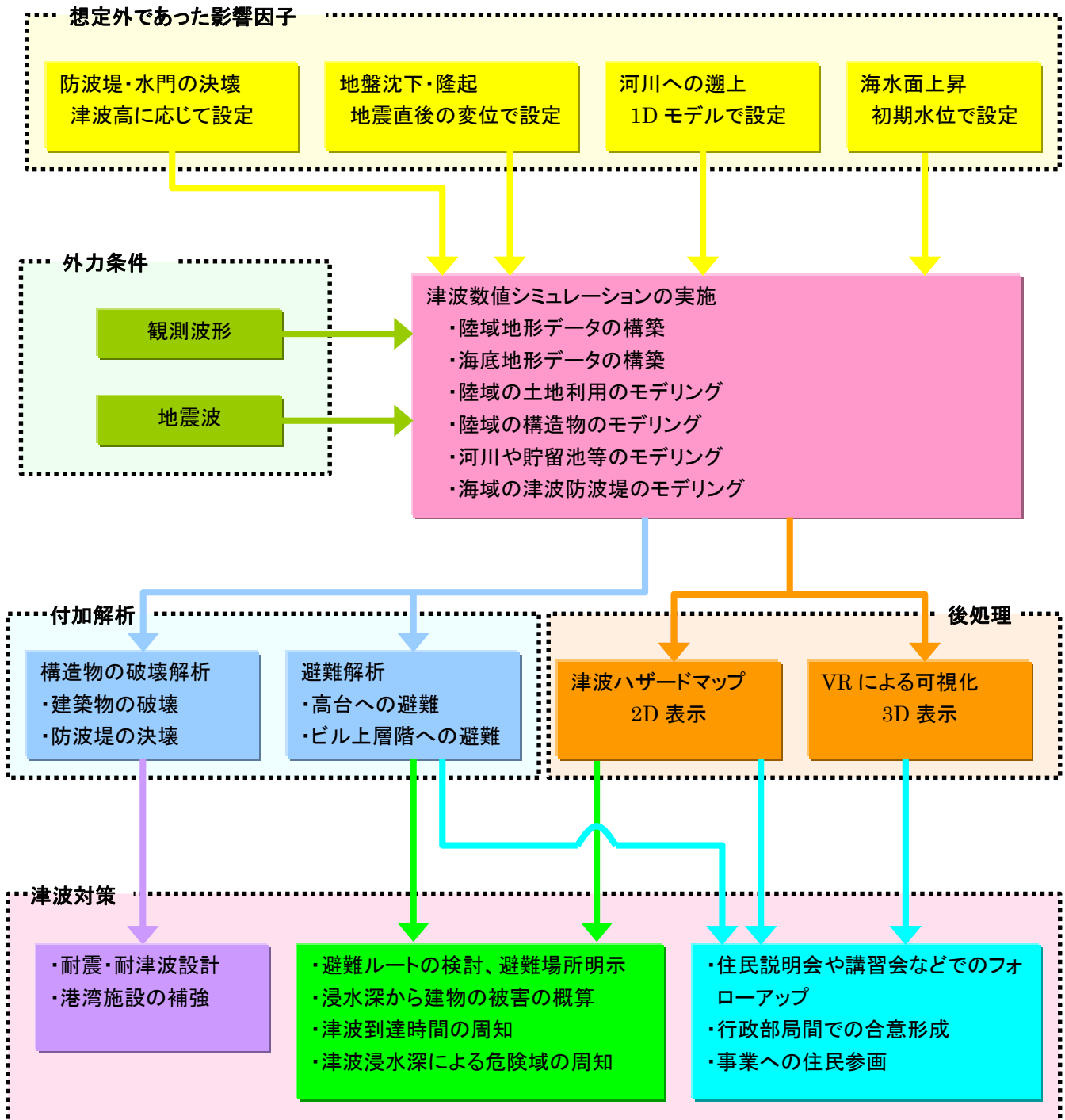


図 - 4 津波ソリューションフロー

2.3 各ソリューションの位置付け

弊社 FORUM8 が総合サービスとして提供する津波ソリューションの構成の概要を表-2 に示します。

これら総合的な検討により、津波解析は従来のソフト対策のみでなく、ハード対策としての効果も期待されます。

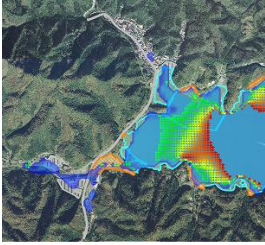
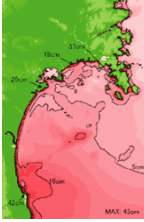
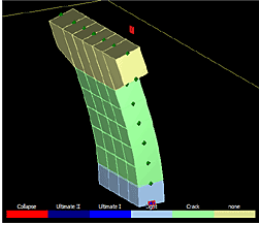
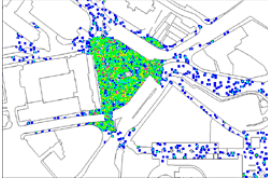

表-2 各ソリューションの位置付け

項目		概要	位置付け		備考
			ハード対策	ソフト対策	
想定外因子	防波堤・水門の決壊	あらかじめ所要の津波高に達した場合に、防波堤が徐々に低くなるとした設定にしておくことにより、防波堤への越波による決壊を再現する。	○		
	地盤沈下・隆起	あらかじめ地盤沈下が発生する時刻を設定することにより、本震のみならず、津波が陸域を遡上している間に余震により地盤が沈下することを表現する。	○		
	河川への遡上	陸域における河川やその他排水インフラを一次元モデルとして構築することにより、津波の二次元解析と排水施設の効果シミュレートする。	○	○	
	海面上昇	今後の気象変動を想定して、解析初期での海水面高のパターンを変えることにより、津波の浸水程度をシミュレートする。	○		
付加解析	建造物の破壊解析	津波解析により求まる各建造物位置での浸水深から、津波の波圧による建造物の破壊をフレーム解析でシミュレートする。	○		
	避難解析	津波解析により求まる陸域での津波の遡上に対して、人が高台まで避難する避難シミュレーションにより、津波規模に応じた効果的な避難場所、避難ルートの検討を行う。		○	
後処理	津波ハザードマップ	津波シミュレーション結果から、ハザードマップを作成する。		○	
	津波 VR	津波シミュレーション結果を、三次元の仮想空間で表現することにより、次世代型のハザードマップとして、住民説明会や講習会等でのフォローアップ等多目的な活用を図る。		○	

2.4 各ソリューション使用製品

津波ソリューションにおける各種解析で使用する製品を表-6に示します。

表-3 解析別使用製品リスト

区 分		製 品 概 要
津波解析	xpswmm 	アメリカ環境保護庁(U.S.Environment Protection Agency)の指導・援助下、フロリダ大学(University of Florida)等機関によって開発されたコードに起源を持つシステムで、世界 4000 ユーザーに利用されている雨水流出解析モデル。 二次元解析エンジンは汎用 CFD(浅水理論の差分法)であり、今年 FEMA(米国緊急事態管理局)の認証を得た高精度の解析コードであり、最新の GUI を活用することにより、防波堤・水門の決壊、地盤沈下・隆起、河川への遡上等を従来考慮していなかった複雑な現象をシミュレートが図れます。
	東 北 大 学 今 村 モ デ ル 	東北大学津波工学研究室(今村文彦教授)で開発された浅水理論の差分法による解析コード。 将来発生し得る津波について陸域の浸水範囲や浸水深さを予測する津波解析。構造物への波力の評価や漂流物の運搬、各メッシュ点における波の高さおよび速度を計算して津波高さ分布図等を作成します。
構造解析	・Engineer's Studio ・UC-win/FRAME(3D) 	任意形立体骨組み構造を対象とした、3次元解析プログラム。 静的・動的荷重による線形および非線形解析が行え、幾何学的非線形性も扱うことができます。断面力の算出から、道路橋示方書による応力度・耐力照査ならびに土木学会コンクリート標準示方書による限界状態設計計算までを一括で実施でき、高度な構造解析と部材設計機能を両立しています。 3次元モデルは3DSファイルにエクスポートでき、UC-win/Roadなどで利用することができます。
避難解析	EXODUS 	非常時・常時の人々の動き・行動を評価可能な避難解析モデル。 英国グリニッジ大学における先駆的研究開発を通して火災安全工学グループ(FSEG)で開発され、人と人、人と火災、人と構造物の相互作用をシミュレートします。このモデルは熱、煙、有毒ガス等の影響を受け室内から避難する各個人の経路を追跡します。 避難算定方法は、「火災避難シミュレーションと同等と認められる算定方法」として東京消防庁より認定されました。
可視化	UC-win/Road 	2002年ソフトウェアプロダクトオブザイヤー(経産省等が後援)を受賞。 多様なVR表示をサポートするビジュアルオプションツールズや各種プレゼンテーション機能で、景観検討、設計協議、事業説明などにおけるリアルタイムプレゼンテーションをサポートします。道路・橋梁プロジェクトにおける計画、設計はもとより、各種公共事業や民間開発全般において、合意形成を支援するツールとして広く活用されてきています。

2.5 津波被害の定量化

津波による被害は、津波高と被害地度に関して整理した既往の調査結果を基に、浸水深から建物被害を予測します。既往の調査結果としては、首藤(1992)に基づいた浸水深さと建物被害の関係を用います。

表 - 4 津波高と被害程度 (首藤 1992)

津波強度	0	1	2	3	4	5
津波高(m)	1	2	4	8	16	32
津波 形態	緩傾斜	岸で盛り上がる	沖でも水の壁 第二波砕波	選択に砕波を 伴うものが増え る。	第一波でも巻波砕波を起こす。	
	急傾斜	早い流速	早い流速			
音響			前面砕波による連続音(海鳴り、暴雨雨)			
				浜での巻き波砕波による大音響(雷鳴。遠方では認識されない)		
					岸に衝突する大音響(遠雷、発破。かなり遠くまで聞こえる)	
木造家屋	部分的破壊		全面破壊			
石造家屋	持ちこたえる			(資料なし)	全面破壊	
鉄・コン・ビル	持ちこたえる			(資料なし)	全面破壊	
漁船			被害発生	被害率 50%	被害率 100%	
防潮林被害	被害軽微			部分的被害	全面被害	
防潮林効果	津波軽減	漂流物阻止		漂流物阻止	無効果	
養殖筏	被害発生					
沿岸集落			被害発生	被害率 50%	被害率 100%	
打上高(m)	1	2	4	8	16	32

注:表中、津波高(m)は船舶・養殖筏など海上にあるものに対しては灯線における津波の高さ、家屋や防潮林など陸上にあるものに関しては地面から測った浸水深となっている。最下段は一集落全体を対象とした表現となっており、その集落の浸水域内で発生した最高遡上高(最高打上げ高)(m)とその浸水域内全体としての家屋被害率の被害程度との関係となっている。

表 - 5 浸水深と被害の関係 (首藤 1988)

被害区分	浸水深	
	木造	非木造
全壊	$2.0\text{m} < H$	—
半壊	$1.0\text{m} \leq H < 2.0\text{m}$	—
床上浸水	$0.5\text{m} \leq H < 1.0\text{m}$	$0.5\text{m} \leq H$
床下浸水	$H < 0.5\text{m}$	$H < 0.5\text{m}$

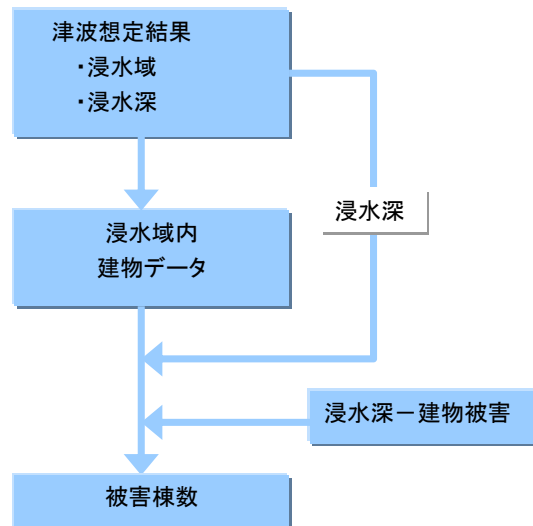


図 - 5 津波による建物被害予測フロー

3 津波解析理論

津波は、高波や洪水流などと同様に長波理論(に従います。同様に津波のように波長の長い波の運動は、水中の圧力は静水圧分布にほぼ近似が可能であり、水平方向の流速成分 u , v は鉛直方向にほぼ一様な分布と仮定することができます。津波解析では、陸域での遡上を含めた浅い海域での摩擦及び移流を考慮した非線形長波理論(浅水理論)により解きます。また、支配方程式には、コリオリ力の項も考慮しているので、計算領域が広大となる遠地津波も表現できます。

▼二次元解析支配方程式

$$x \text{ 方向運動方程式: } \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} - c_f \cdot v + g \frac{\partial \xi}{\partial x} + gu \frac{\sqrt{u^2 + v^2}}{C^2 H} - \mu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) = F_x$$

$$y \text{ 方向運動方程式: } \frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} - c_f \cdot u + g \frac{\partial \xi}{\partial y} + gv \frac{\sqrt{u^2 + v^2}}{C^2 H} - \mu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) = F_y$$

$$\text{連続式: } \frac{\partial \xi}{\partial t} + \frac{\partial(Hu)}{\partial x} + \frac{\partial(Hv)}{\partial y} = 0$$

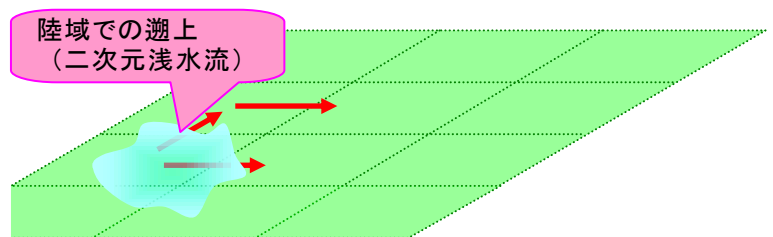


図 - 6 差分解析格子での二次元浅水流の概念図

陸域の河川や排水路等は一次元不定流を用いて、二次元解析と一次元解析とを逐次連携させたモデリングも行えます。

▼一次元支配方程式

$$\text{運動方程式: } \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + g \frac{\partial \xi}{\partial x} + k|u|u = 0$$

$$\text{連続式: } \frac{\partial(uA)}{\partial x} + B \frac{\partial \xi}{\partial t} = 0$$

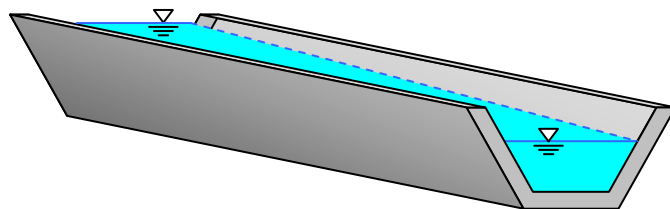
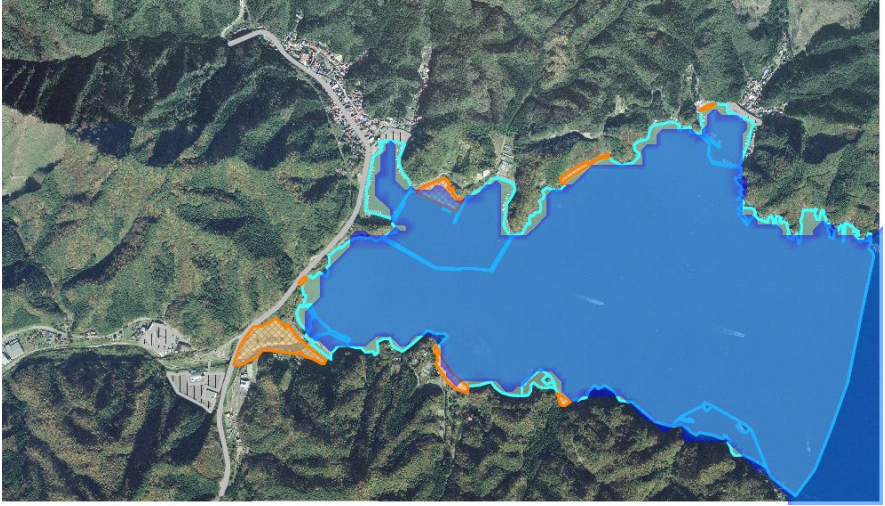
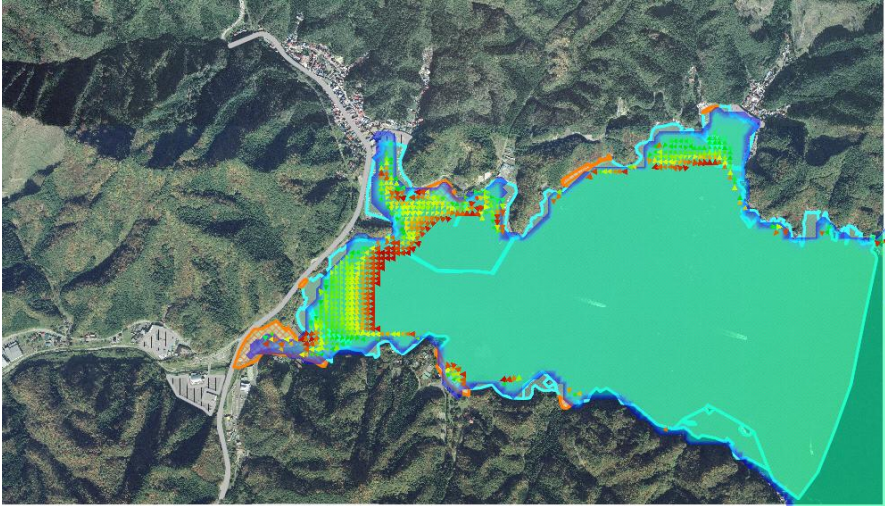
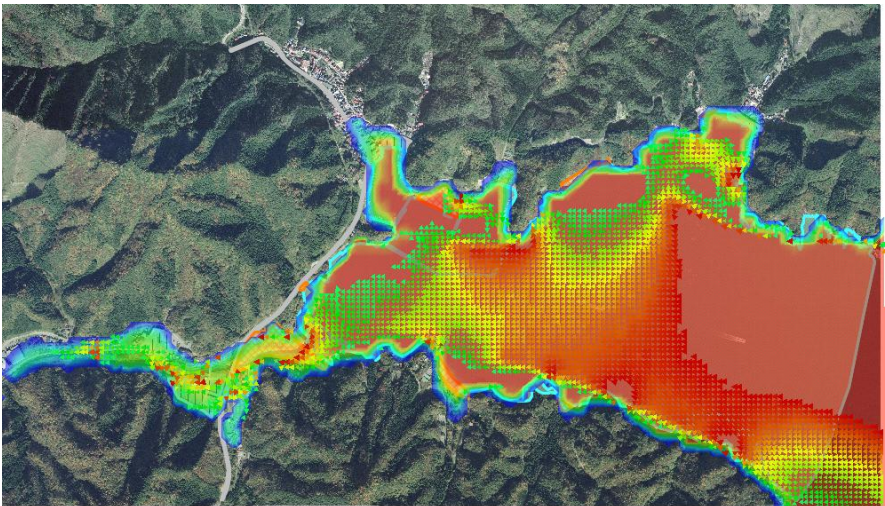


図 - 7 DynamicWave 法による一次元水理解析の概念図

4 出力例

津波の数値シミュレーションの出力例を表-6に示します。

表-6 津波解析 2D 出力イメージ

区 分		出 力 イ メ ー ジ
解析結果の 出力	津波前海水面	
	津波伝播過程	
	津波最大浸水 範囲	

津波シミュレーションのバーチャルリアリティによる出力イメージを表-7に示します。

表-7 津波解析 VR 出力イメージ(1/2)

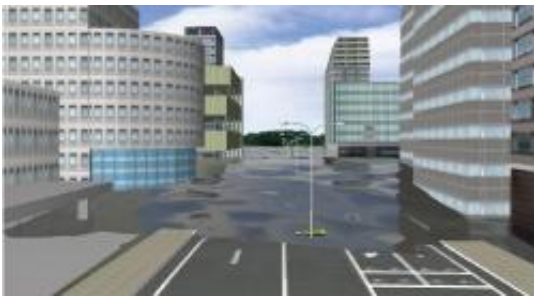









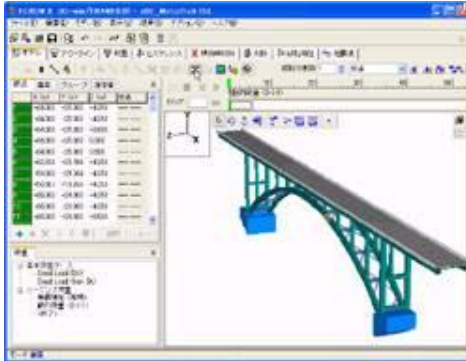
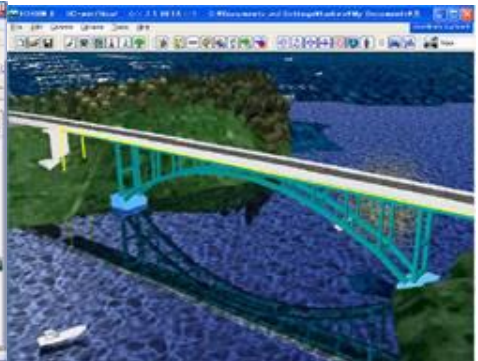
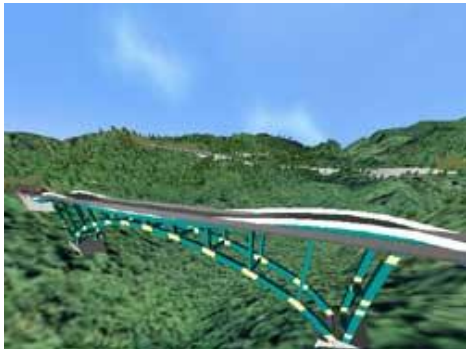

区分		出力イメージ	
解析結果の出力	浸水の表現区分		
		水面としての津波表現	コンター及びベクトルを使った津波表現
	津波発生時		
	津波遡上時		
			
			

表 - 7 津波解析 VR 出力イメージ(2/2)

区分		出力イメージ	
解析結果の出力	遡上の表現		
	構造物の破壊や火災と津波とを表現		

構造解析結果の出力イメージを表-9に示します。

表 - 8 構造解析結果の出力イメージ

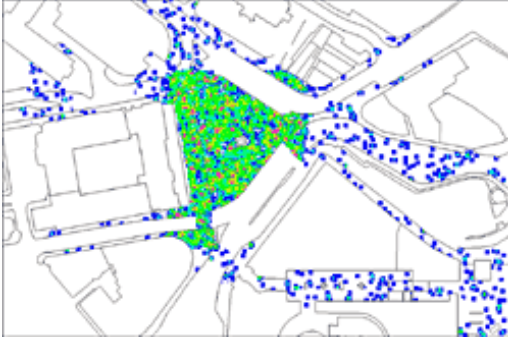

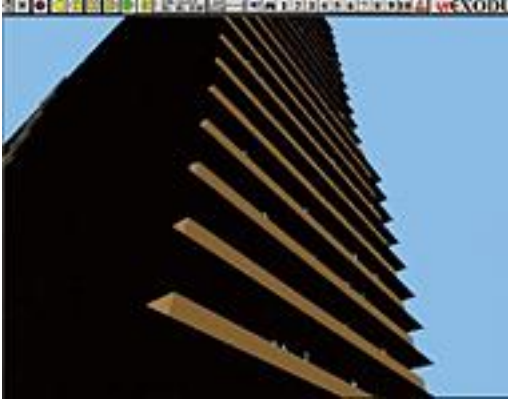



区分		出力イメージ	
解析結果の出力	構造物の VR での表現		
	三次元情報の合成により構造解析結果となる構造物の挙動を VR 空間で再現		

UC-win/Frame3D での出力

UC-win/Road に橋梁モデルを連携

避難解析結果の出力イメージを表-9に示します。

表-9 避難解析結果の出力イメージ

区分	出力イメージ	
解析結果の出力 避難 ルー トの 表現	 <p data-bbox="448 779 667 808">EXODUS での解析</p>	 <p data-bbox="948 779 1353 808">UC-win/Road での VR による可視化</p>
避難 ビル 上層 階へ の非 難の 表現	 <p data-bbox="432 1261 651 1290">EXODUS での出力</p>	 <p data-bbox="948 1261 1353 1290">UC-win/Road での VR による可視化</p>
	 <p data-bbox="432 1644 651 1673">EXODUS での出力</p>	 <p data-bbox="948 1644 1353 1673">UC-win/Road での VR による可視化</p>

5 必要資料

津波解析による基本的必要資料は以下(その他の津波ソリューションデータは除く)となります。

表・10 必要データのイメージ


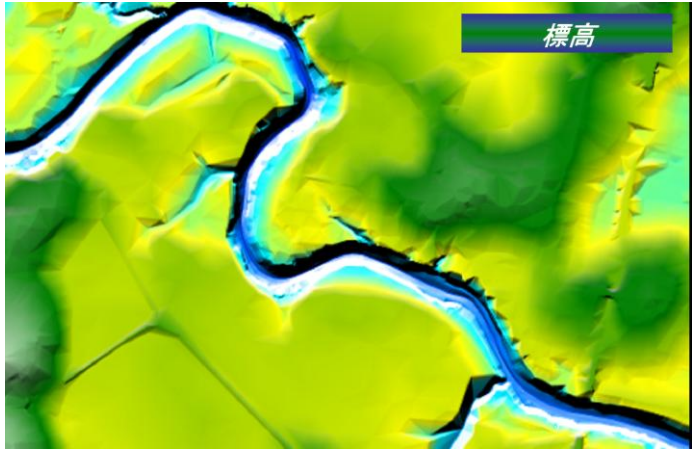
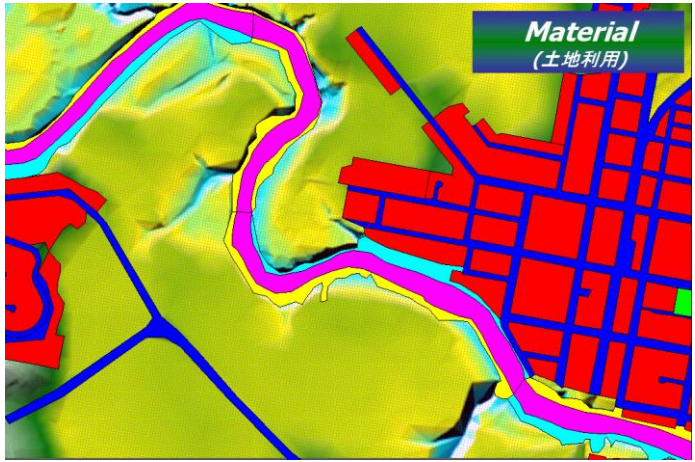
区 分		出 力 イ メ ー ジ
解析条件の 出力	航空写真	
	三次元地形	
	土地利用区分	

表 - 11 必要資料

種 別	資 料
陸域地形に関するデータ	国土地理院メッシュデータ等の三次元地形
地表面に関するデータ	航空写真等
構造物データ	GIS ファイル、基盤地図情報等
土地利用に関するデータ	GIS ファイル、基盤地図情報等
防波堤データ(適宜)	防波堤平面配置、天端高
河川に関するデータ(適宜)	河川断面、河川縦断
排水路に関するデータ(適宜)	水路規格、上下流底高等
貯留施設に関するデータ(適宜)	貯留施設 H-A 曲線、天端、基礎、洪水吐き等
海面データ	当該地区の最低水面(潮位)
時系列データ	津波観測波形、地震動等

6 成果品

解析モデルの構築に使用した資料一式及び解析モデル(データファイル)及び報告書の納品をもって成果とします。

表 - 12 成果品

成 果 品	備 考
陸域地形データの整理資料	一式
陸域土地利用データ整理資料	一式
陸域建物データ整理資料	一式
海底地形データ整理資料	一式
排水施設の整理資料(適宜)	一式
防波堤の整理資料(適宜)	一式
プログラムデータファイル	一式

以上