

原子力安全のための耐津波工学
—地震・津波防御の総合技術体系を目指して—

耐津波工学関連の解析 コード

○松山昌史 電力中央研究所
平石哲也 京都大学

平成27年4月15日(水)
東京大学弥生講堂 一条ホール

何をしたのか

関係機関等にEメールで、解析コード情報を募集

↓
その結果を集約

↓
その他にも文献を収集:61

10. 耐津波工学関連の解析コード

10.1 はじめに

10.2 津波の波源に関する解析 _____ 23

10.3 津波の海洋伝播と遡上に関する解析 _____ 23

10.4 耐津波の構造物に関する解析 _____ 4

10.5 津波の取放水路を介した溢水・浸水に関する解析 — 3

10.6 津波による地形変化と洗掘過程に関する解析 _____ 8

10.7 10章のまとめ

10.2 津波の波源に関する解析

10.2 津波の波源に関する解析

10.2.1 地震による津波の発生 (海底地殻変動解析)

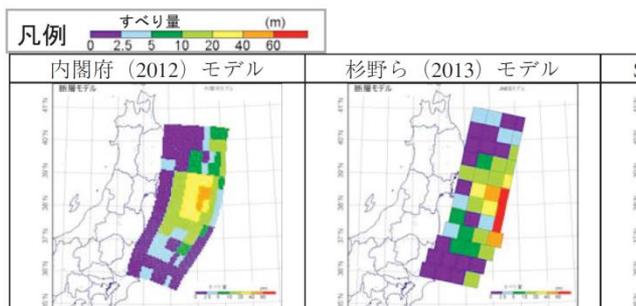
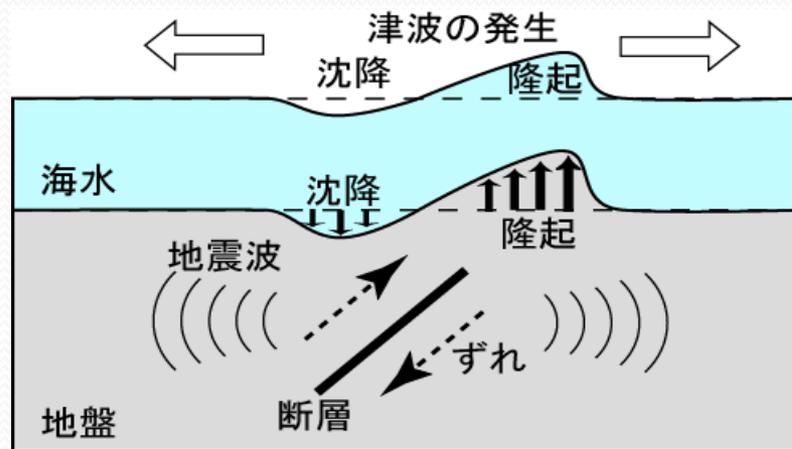
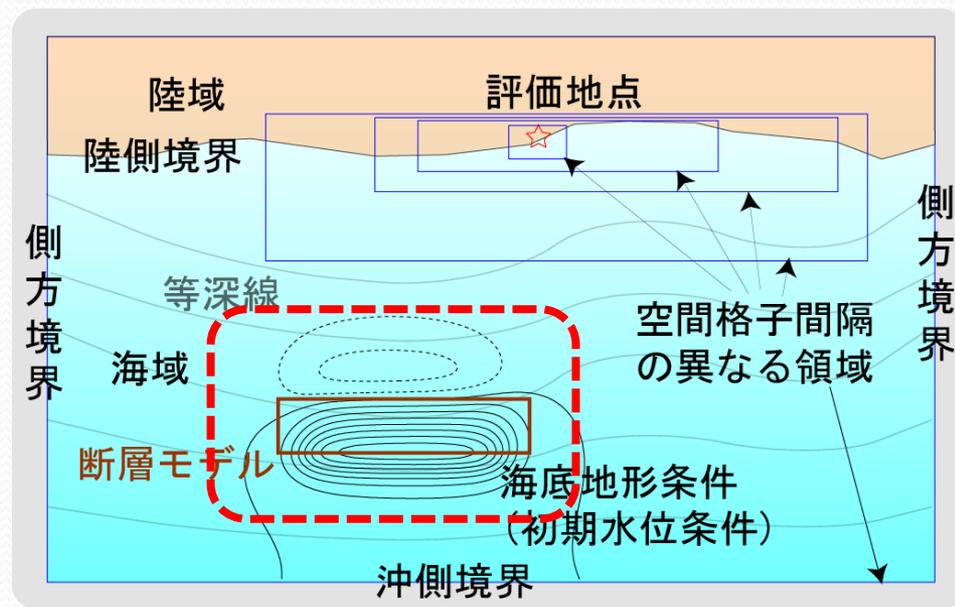
解析解, 数値解析

10.2.2 山体崩壊, 海底地すべりによる津波の発生

流量入射, Kinematicモデル, 二層流モデル, その他

10.2.3 津波波源のインバージョン解析

東北地方太平洋沖地震の4事例



10.3 津波の海洋伝播と遡上に関する解析

10.3 津波の海洋伝播と遡上に関する解析

10.3.1 外海における津波の解析

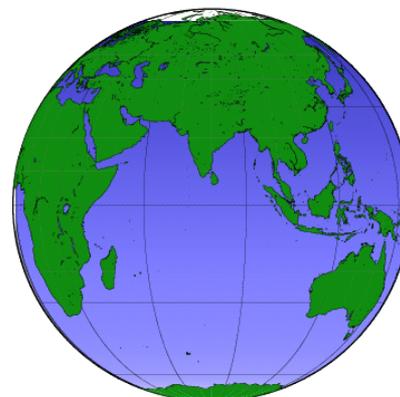
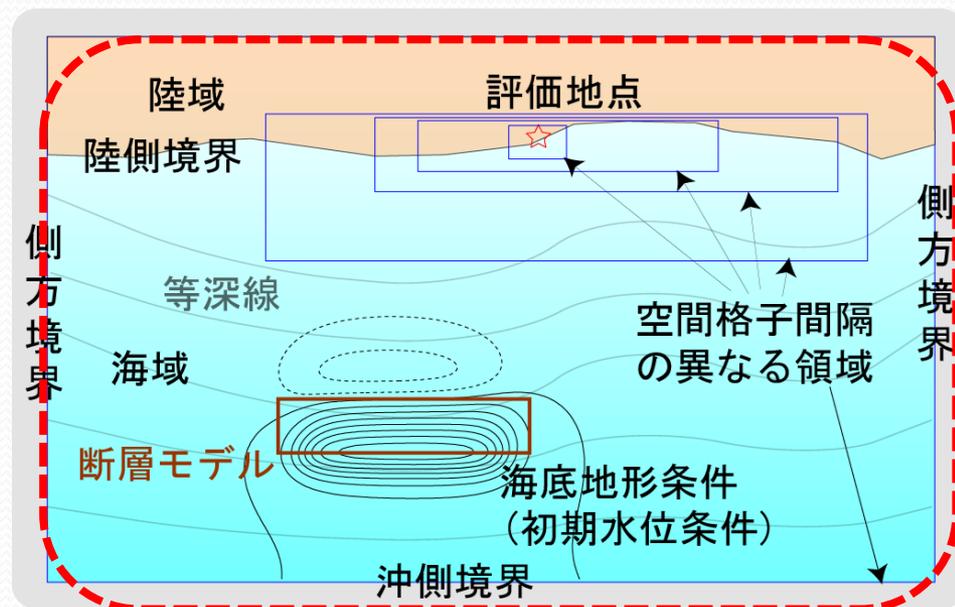
平面2次元モデル, 3次元モデル

10.3.2 陸上を含む沿岸における津波の解析

平面2次元モデル, 3次元モデル

オープンソースコード

CADMAS-SURF/3DやOpenFOAM



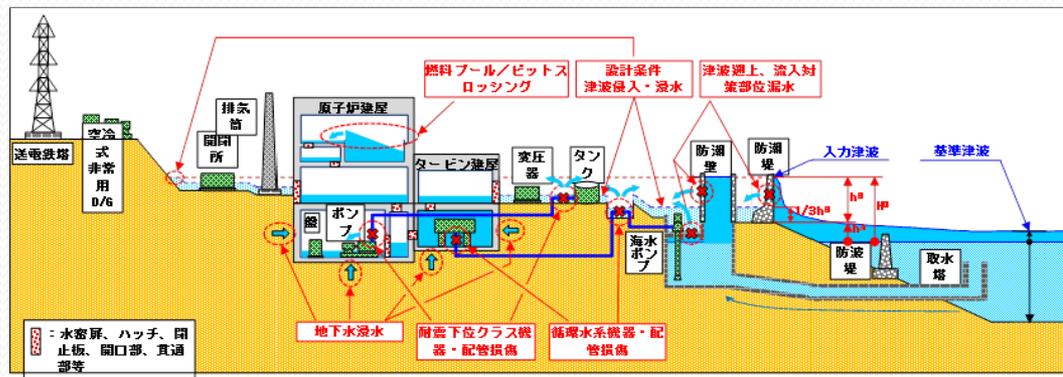
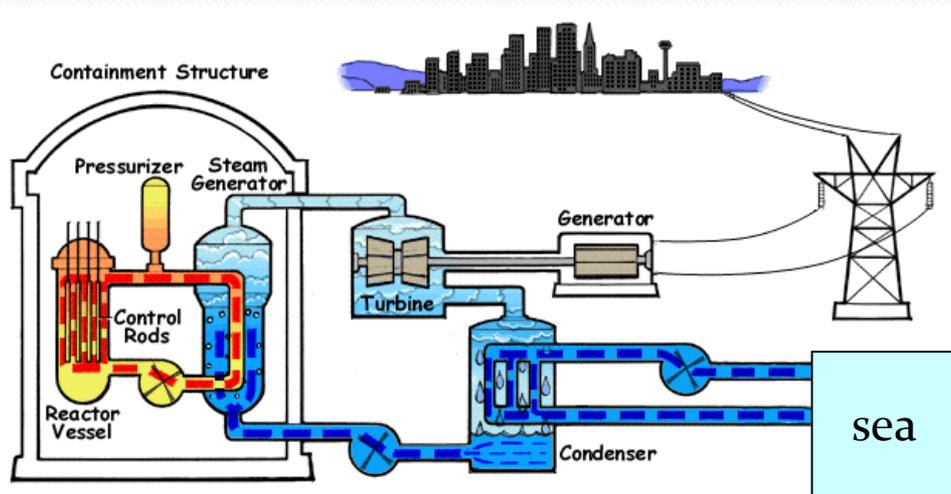
000day 00h 00m 00s

~/grd/za00000.grd

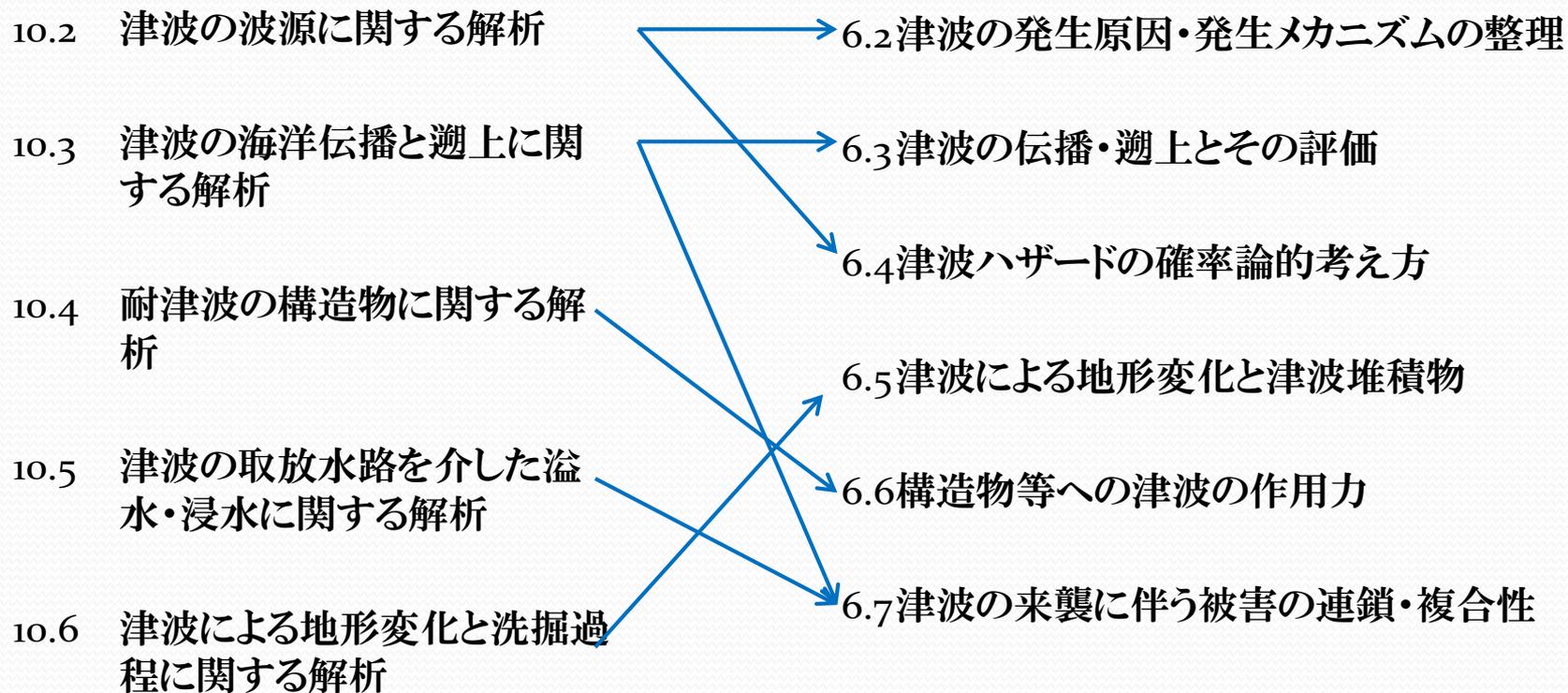


10.4 ~ 10.6

- 10.4 耐津波の構造物に関する解析
 三次元流体・剛体連成解析コード→ナビエ・ストークス方程式を有限差分法により直接解析
 粒子法: MPS法(Moving Particle Semi-implicit)
- 10.5 津波の取放水路を介した溢水・浸水に関する解析
 管路・開水路の解析
- 10.6 津波による地形変化と洗掘過程に関する解析
 局所フラックスモデル+浮遊砂移流拡散モデル
 3次元モデル



「6章津波の作用」との関連



リスク論と解析コード

- 数値解析技術
 - 自然現象の精緻な再現
 - 計算コスト大(時間, 予算)
 - 3次元の時間発展型の地殻変動解析
- リスク論
 - 多くのシナリオの検討: 確率論, 決定論
 - 計算コスト中: 多くのシナリオ評価可能なもの
 - 一定の条件下: 理論解による地殻変動解析

節/項	コード名	開発者・グループ	計算法の特徴	適用範囲
10.2.1	Mansinha and SmylieもしくはOkadaの方法による海底地殻変動解析	東北大学, 他	地震津波の発生を担う地震時の海底地殻変動を断層パラメータを元に計算する。また, 海底面が斜面の場合に水平変位によっても海底面が変動する効果を取り入れることも可能	断層による海底地殻変動に適用可能
	Abaqusを用いた海底地殻変動解析	電力中央研究所が適用	海底地殻と断層面を有限要素法でモデル化し, 海底地殻変動を解析する。断層面の上盤と下盤の各々に任意のすべり量分布を与えることが可能	
	GMS*を用いた地殻変動解析	青井ら, 防災科学技術研究所	地震動解析とともに海底地殻変動の解析も可能であり, 地震時の海底面の動的な変動を入力した津波発生解析が可能	
10.2.2	山体崩壊土砂の海中突入による津波発生に関する解析	相田, 東京大学地震研究所	計算領域境界においてど突入土砂量分布の時間変化を流量置換してモデル化	山体崩壊の津波発生
	山体崩壊土砂の海中突入による津波発生に関する解析	Satake, 産業技術総合研究所	陸域からの土砂等の海中突入を動的な海底地形の変化としてモデル化	山体崩壊や海底地すべりの津波発生
	海底地すべりによる津波発生に関する解析	Imamura, 東北大学	海底地すべりの土砂を流体として取り扱ってモデル化	海底地すべりの津波発生
	粒子法による海底地すべりによる津波発生に関する解析	後藤ら, 京都大学	海水および海底地すべりの土砂を流体として粒子法でモデル化	海底地すべりの津波発生
10.2.3	津波記録を基にした津波インバージョン解析の	Satake, 東京大学地震研究所 小池, 和歌山高等専門学校, 高川・富田, 港湾空港技術研究所 Tsushima et.al, 気象研究所	沿岸の水位記録, 浸水域などの津波記録を基に津波波源モデルを推定したり水位記録より将来の津波による水位変動の推定に活用	地震津波

10.3.1	津波の伝播解析(非線形長波理論)	後藤・小川, Imamura et. al, 東北大学 MIKE21HD, デンマーク水理研究所	実用的な手法 多彩なメッシュ方法が採用可能	津波波源から沿岸, 遡上域まで 津波波源から沿岸, 遡上域まで
	津波の伝播解析(非線形分散波理論)	佐藤, 土木研究所 Iwase and Imamura, エコー 松山ら, 電力中央研究所 鳴原・藤間, 防衛大 村嶋ら, 国際興業	浅海域のソリトン分裂を再現	津波波源から沿岸まで
	津波の伝播解析	Goto and Ogawa, 他	地球座標系	遠地津波を対象
10.3.2	津波の伝播解析(3次元モデル)	Saito and Furumura(2009)	津波波源も含めた3次元モデル	津波波源から沿岸まで, ただし沿岸の格子幅は1km程度と粗い
	津波の伝播解析(非線形長波理論)	後藤・小川, Imamura et. al, 東北大学 MIKE21HD, デンマーク水理研究所	河川遡上を考慮	津波波源から沿岸, 遡上域まで 津波波源から沿岸, 遡上域まで
	沿岸の津波解析(CIP法)	川崎, 名古屋大学	段波状津波の遡上を再現	遡上津波, 構造物と津波の相互干渉, 漂流物の動的挙動を解析可能

10.3.3	STOC-ML	富田ら, 港湾空港技術研究所	静水圧三次元モデルと非静水圧三次元モデルのハイブリッド	遠地津波および近地津波の伝播・遡上, ソリトン分裂, 構造物と干渉, 津波漂流物の解析
	C-HYDRO3D	木原, 電力中央研究所	静水圧三次元モデル	遠地津波・近地津波の伝播・遡上, 地形変化
	ROMS	米国. ラトジャース大学	静水圧三次元モデル	津波波源から沿岸, 遡上域まで
	CADMAS-SURF/3D*	港湾空港技術研究所 沿岸技術センター	非静水圧3次元モデル	遡上津波の挙動解明, 気体・地盤・固体との連成可能
	OpenFOAM*	OpenFOAM Foundation	非静水圧3次元モデル	遡上津波等の沿岸の津波挙動, 構造物との連成
	3次元固気液多相乱流数値モデル DOLPHIN-3D	川崎, 名古屋大学	非静水圧3次元モデル, 流体剛体連成	遡上津波, 構造物と津波の相互干渉 漂流物の動的挙動を解析可能
	津波複合災害予測モデル	米山, 京都大学	非静水圧3次元モデル, SIMPLE法 流体剛体連成 水質移流拡散	遡上津波の挙動 津波漂流物挙動 塩分遡上挙動

10.4.1	3次元固気液多相乱流数値モデル DOLPHIN-3D	川崎, 名古屋大学	非静水圧3次元モデル 流体剛体連成	遡上津波, 構造物と津波の相互干渉 漂流物の動的挙動を解析可能
	MPS法	小笠原, 岩手大学	流体-構造連成解析 複雑な流体解析	堤防越流した津波の解析
	津波複合災害予測モデル	米山, 京都大学	非静水圧3次元モデル SIMPLE法 流体剛体連成 水質移流拡散	遡上津波の挙動 津波漂流物挙動 塩分遡上挙動

10.5	管路・開水路の水面応答計算	中部電力他	管路と開水路の各1次元方程式を連携	取水路・放水路の水面応答解析
	管路・開水路の水面応答計算	高畠ら, 大成建設	立坑接続部の局所的な圧力差を考慮	取水路・放水路の水面応答解析

10.6	津波地形変化予測	高橋ら, 東北大学	平面二次元数値モデル	地形変化予測 対数則による摩擦速度
	津波地形変化予測	藤井ら, 東電設計	平面二次元数値モデル	地形変化予測 log-wake則による摩擦速度
	津波遡上・地形変化予測数値モデル	山本ら, 東海大学	平面二次元数値モデル	津波の遡上と地形変化予測

最後に

- 耐津波工学に関連する解析コード
- オープンソースコード
- 完全ではないが、初期調査に有用

まとめるにあたりご協力いただいた方々に
感謝を申し上げます。

訂正：257ページ

- (d)10.5と(e)10.6:表を入れ替え

(d) 10.5 津波の取放水路を介した溢水・浸水解析

10.5	管路・開水路の水面応答計算	中部電力他	管路と開水路の各1次元方程式を連携	取水路・放水路の水面応答解析
	管路・開水路の水面応答計算	高畠ら, 大成建設	立坑接続部の局所的な圧力差を考慮	取水路・放水路の水面応答解析

(e) 10.6 津波による地形変化と洗掘過程の解明

10.6	津波地形変化予測	高橋ら, 東北大学	平面二次元数値モデル	地形変化予測 対数則による摩擦速度
	津波地形変化予測	藤井ら, 東電設計	平面二次元数値モデル	地形変化予測 log-wake 則による摩擦速度
	津波遡上・地形変化予測数値モデル	山本ら, 東海大学	平面二次元数値モデル	津波の遡上と地形変化予測