高知港海岸における櫛形鋼矢板壁工法の適用検討

国土交通省　四国地方整備局　高松港湾空港技術調査事務所　正会員　○竹田　晃
八千代エンジニヤリング(株)　国生　隼人　小山　萌弥
協同エンジニアリング(株)　荒木　健人　末永　怜士

１．はじめに

多くの産業や家屋等が集積する沿岸部では，津波等の災害に対するインフラ整備が急務である．大分港海岸においては，比較的安価かつ迅速に海岸保全施設を構築できる櫛形鋼矢板壁工法が採用されている．本工法は，短尺矢板部の根入れを液状化層の途中までに留めることで液状化層の流動力を逃がし，自重は長尺矢板部を支持層（非液状化層）まで打設することで支持する構造である．これにより液状化が生じた場合に大変形を許容しつつ沈下を抑制し，津波等に対する必要天端高を確保できる（**図-1** 参照）．また近年，高知港海岸においては逼迫する東南海・南海地震等に備え海岸保全施設の整備を進めており，特に浦戸湾内の家屋等が近接する工区で櫛形鋼矢板壁工法の検討が求められている．しかし，同一工区内で支持層となる基盤（岩盤）が著しく起伏しており，液状化層の流動力に加え支持基盤の影響を踏まえた検討が必要である．本稿では，高知港海岸における基盤起伏の影響を踏まえた櫛形鋼矢板壁工法の適用検討結果について報告する．

２．基盤（岩盤）の起伏と FLIP 解析の設定

浦戸湾内のある工区の土質縦断図を**図-2** に示す．支持層となる基盤（岩盤）は，標高 0m～−20m で著しく起伏しており，その上層の大部分は，レベル 2 地震動で液状化する地盤（Bn 層，Ag 層，As 層，Dg 層）である．起伏の影響把握のため，2 つの地盤モデル（①基盤を深く設定，②基盤を浅く設定）にて検討する．

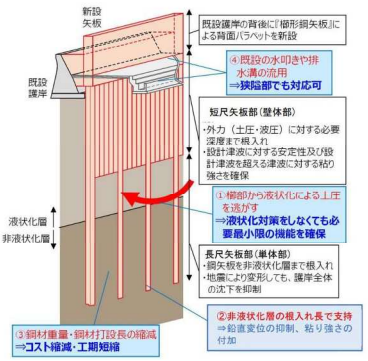


図-1 櫛形鋼矢板工法の概要 [1)]

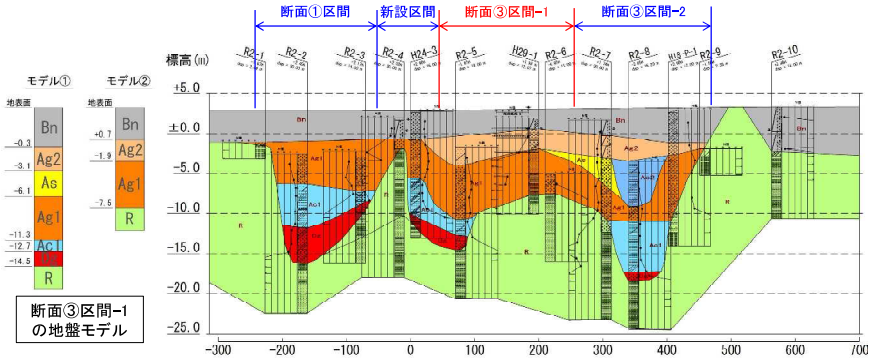


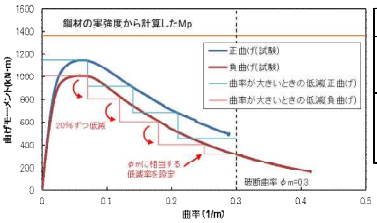
図-2 土質縦断図と地盤モデル（断面③区間−1）の概要

レベル 2 地震動の照査は有限要素法（FLIP）にて実施する（地盤パラメータは**表-1** 参照）．短尺矢板部と地盤の間には，ジョイント要素と MPC-X を組合せた事前検討結果より前面・背面ともにジョイント要素を配置した．長尺矢板部は全塑性を超える大きな曲率が発生するため，最大曲げモーメントの低減が必要となる．本検討では，ハット型鋼矢板の曲げ載荷試験（M−φ特性）[1)]への適合を図りつつ実務上の計算負荷軽減のため，最大曲げモーメントを 20%刻みで設定する段階的評価法を導入した（**図-3** 参照）．発生曲率が低減率の範囲内にあることを収束条件とすることで計算精度確保とトライアル回数削減を両立した．発生曲率の限界値（破断曲率）は試験結果より φ=0.3（m^{-1}）とした．

３．解析結果

（１）地盤モデル①（基盤を深く設定）の解析結果

レベル 2 地震時には液状化を許容する設計のため短尺矢板部と長尺矢板部の境界で大きく変形するが，長尺矢板部（ハット型鋼矢板 50H（SYW430））の最大曲率は φ=0.26（m^{-1}）と，限界値を下回る結果となった．



	曲率φ	曲率が大きい場合の低減率α
50H（正曲げ）	0.00 < φ ≦ 0.07	1.00
	0.07 < φ ≦ 0.14	0.80
	0.14 < φ ≦ 0.21	0.60
	0.21 < φ ≦ 0.30	0.40
50H（負曲げ）	0.00 < φ ≦ 0.07	1.00
	0.07 < φ ≦ 0.12	0.80
	0.12 < φ ≦ 0.18	0.60
	0.18 < φ ≦ 0.25	0.40
	0.25 < φ ≦ 0.30	0.31

※事前解析で，設計影響を確認の上，20%ずつ低減した．

図-3 曲げモーメントの低減（参考文献に加筆）

キーワード　櫛形鋼矢板壁工法，津波対策，FLIP 解析
連絡先　〒760-0064　高松市朝日新町 1 番 30 号（高松港湾合同庁舎）
国土交通省　四国地方整備局　高松港湾空港技術調査事務所　TEL087-811-5661

© Japan Society of Civil Engineers

表-1 FLIP 解析用地盤パラメータ

土層	分類	共通		静的解析用					動的解析用												
		湿潤単位体積重量 γ_t (kN/m^3)	飽和単位体積重量 γ_{sat} (kN/m^3)	N値	せん断抵抗角 φ (°)	粘着力 c (kN/m^2)	細粒分含有率 FC (%)	せん断波速度 V_s (m/s)	基準有効拘束圧 σ_{ma} (kN/m^2)	基準せん断弾性 G_{ma} (kN/m^2)	基準体積弾性係数 K_{ma} (kN/m^2)	ポアソン比 ν	せん断抵抗角 φ (°)	粘着力 c (kN/m^2)	最大減衰 h_{max}	間隙率 n	拘束圧依存性 m_G, m_K	液状化パラメータ φ_p	S_1	w_1	p_1	p_2	c_1
Bn	砂質土	21.4	22.8	3.4	30.4	—	10.6	176	98.0	138,068	360,058	0.33	38.8	—	0.24	0.29	0.5	28.0	0.005	2.71	1.50	1.03	2.12
Ag2	砂質土	20.6	20.8	3.1	30.3	—	15.3	202	98.0	164,086	427,911	0.33	38.7	—	0.24	0.33	0.5	28.0	0.005	3.27	1.50	1.01	3.68
Ag1	砂質土	20.2	20.5	7.9	32.8	—	20.1	234	98.0	170,169	443,775	0.33	39.6	—	0.24	0.38	0.5	28.0	0.005	10.90	1.50	0.91	4.05
As	砂質土	19.7	20.0	4.5	30.5	—	36.2	179	98.0	92,899	216,187	0.33	38.7	—	0.24	0.40	0.5	28.0	0.005	8.26	0.50	0.98	3.01
Ac2	粘性土	17.6	17.8	0.0	—	18.3	61.5	90	17.3	14,712	38,367	0.33	30.0	—	0.20	0.53	0.5	—	—	—	—	—	—
Ac1	粘性土	17.5	17.7	2.5	—	39.8	74.9	150	57.9	40,638	105,977	0.33	30.0	—	0.20	0.54	0.5	—	—	—	—	—	—
Dg	砂質土	20.7	21.0	11.2	32.9	—	25.3	303	98.0	222,234	579,552	0.33	39.8	—	0.24	0.34	0.5	28.0	0.005	4.26	0.50	0.89	3.69
R	基盤	19.0	19.1	50.0	—	—	—	621	98.0	751,606	1,960,072	0	—	2210.6	0.20	0.55	0.0	—	—	—	—	—	—
基礎捨石	砂質土	18.0	20.1						98.0	180,000	469,400	0.33	35.0	20.0	0.24	0.45	0.5	—	—	—	—	—	—
置換砕	砂質土	18.0	20.1						98.0	73,800	192,460	0.33	39.0	—	0.24	0.45	0.5	28.0	0.005	2.54	0.50	0.50	2.68

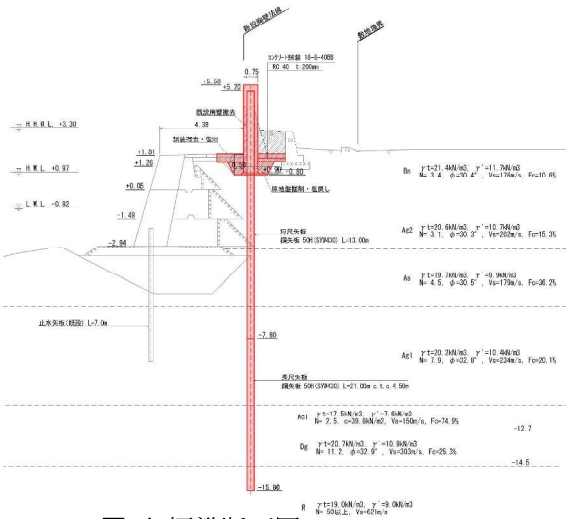


図-4 標準断面図

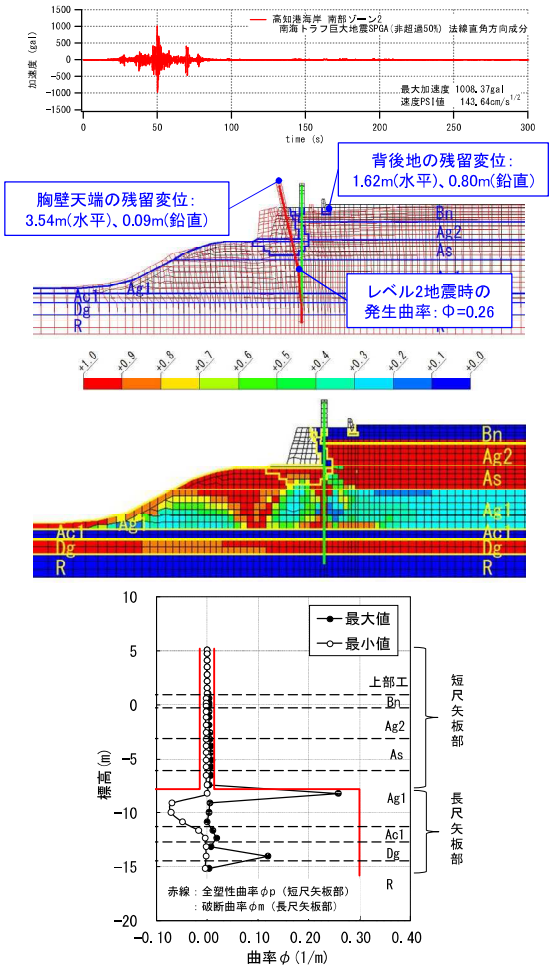


図-5 レベル 2 地震動と解析結果（上：残留変形図，中：最大過剰間隙水圧分布図，下： 曲率分布図）

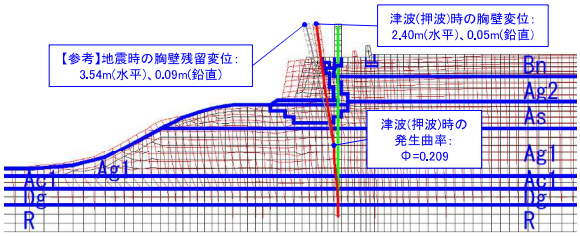


図-6 地震・津波一連解析結果（残留変形図）

また，液状化等により地盤剛性が低下状態で津波作用を受ける影響を把握するため，地震・津波一連解析を実施し，矢板の性能が確保されることを確認した．

（2）地盤モデル②（基盤を浅く設定）の解析結果

止水性等の観点から短尺矢板部の下端を設定すると，基盤内に達し長尺部のない通常の自立矢板式のような構造となった．この断面では試行錯誤したものの解析が途中で発散した．当該工法の液状化層の流動力を逃がすメリットを活かせず，矢板が大きく変形したためと推察され，構造的な安定を有しないと判断した．

4．おわりに

基盤（岩盤）の起伏を考慮した 2 つの地盤モデルにて櫛形鋼矢板壁工法の適用検討を行った結果，地盤モデル①（基盤を深く設定）は性能規定等を満足するが，地盤モデル②（基盤を浅く設定）は構造不成立となった．本工法が有効に機能するためには，短尺矢板下端と基盤間にある程度の離隔が必要と考えられ，基盤を深く（液状化層等を厚く）設定することが必ずしも安全側の評価とならないことに留意する必要がある．

硬質地盤へ鋼矢板を圧入する施工技術はあるもののハット型鋼矢板を用いた事例は少ない．基盤の起伏が著しい場所で櫛形鋼矢板壁工法を適用する場合は設計段階から施工面を含め慎重な検討が必要である．

謝辞：検討にあたっては，「高知港海岸地震津波対策技術検討会（座長：菅野高弘 港湾空港技術研究所 フェロー）」の委員の皆様には，多大なご助言，ご協力頂きました．記して厚くお礼申し上げます．

参考文献 1）櫛形矢板壁工法マニュアル（案），国土交通省九州地方整備局下関港湾空港技術調査事務所，令和 4 年 3 月

© Japan Society of Civil Engineers