

# PMC工法により背面土圧軽減を図ったケーソン岸壁の震災復旧

東亜建設工業(株) 正会員 北村 亮  
神戸市港湾整備局 山本 俊幸  
神戸市港湾整備局 高山美知雄  
東亜建設工業(株) 正会員 吉田 敏

## 1. はじめに

平成7年1月17日早朝発生した阪神・淡路大震災は、神戸港を中心に甚大な被害をもたらした。

神戸港の大部分を占めるケーソン岸壁の被災状況は、海側へ数m水平移動するとともに前傾し、その背後地盤は大きく沈下したが、法線は曲がりながらも連続性は保持されていた。被災岸壁の復旧工法は、各岸壁の被災変形および現場制約条件等を勘案して各施設に最も適した工法が採用された。復旧工法は、

- ①前出し工法
- ②据直し工法
- ③補強工法

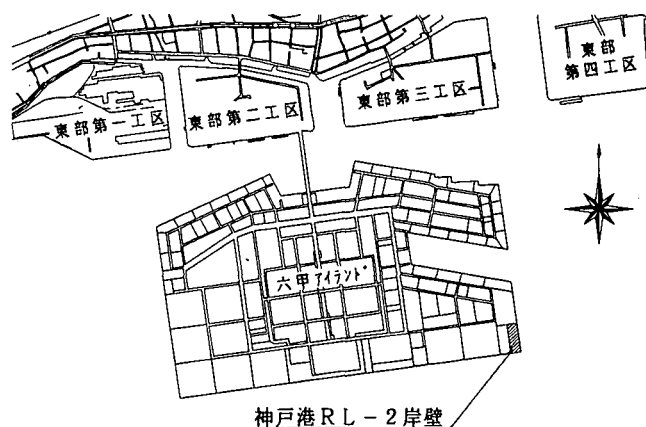
などに分類される。

神戸港六甲アイランドRL-2岸壁では、当バースの社会的重要性から国の緊急仮設栈橋に含まれたため、ケーソンをそのまま利用し背面土圧をPMC工法 (*Pre-Mixed Clay Method*) による軽量混合土 (以下軽量混合土と記す) で軽減させる工法が採用された。

本稿では、この軽量混合土により背面土圧の軽減を図り早期復旧させたケーソン岸壁の設計・施工について報告する。

## 2. 対象施設および被災状況

軽量混合土で緊急復旧した施設は、(図-1)に示す「六甲アイランドRL-2岸壁 延長距離L=329m」の区間である。



(図-1) RL-2岸壁位置図

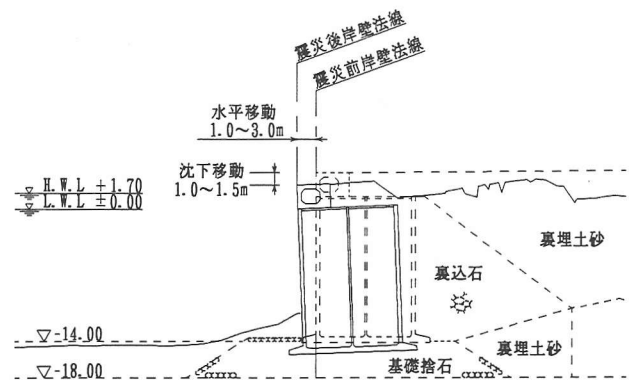
この施設の断面は置換砂を有するケーソン構造で、地震により、岸壁法線1.0~3.0mはらみだし、岸壁天端が1.0~1.5m沈下し、ケーソンが1~5度前傾し、ケーソン背後地に1~2mの段差が生じた。被災全景を(写真-1)に、被災断面図を(図-2)に示す。

キーワード；阪神・淡路大震災、ケーソン、岸壁、土圧軽減

連絡先；住所 神戸市中央区御幸通5-2-15・電話078-232-1257・FAX078-252-1614



(写真-1) 被災全景



(図-2) R L-2 岸壁被災断面図

### 3. 復旧工法採用の経緯

震災直後の当初復旧案は、

- ①既存ケーソンそのものに大きな損傷が認められなかったこと
- ②ケーソンの被災変形は比較的小さいものの、背面地盤の沈下が部分的に大きかったこと

から、「据直し工法」が提案された。

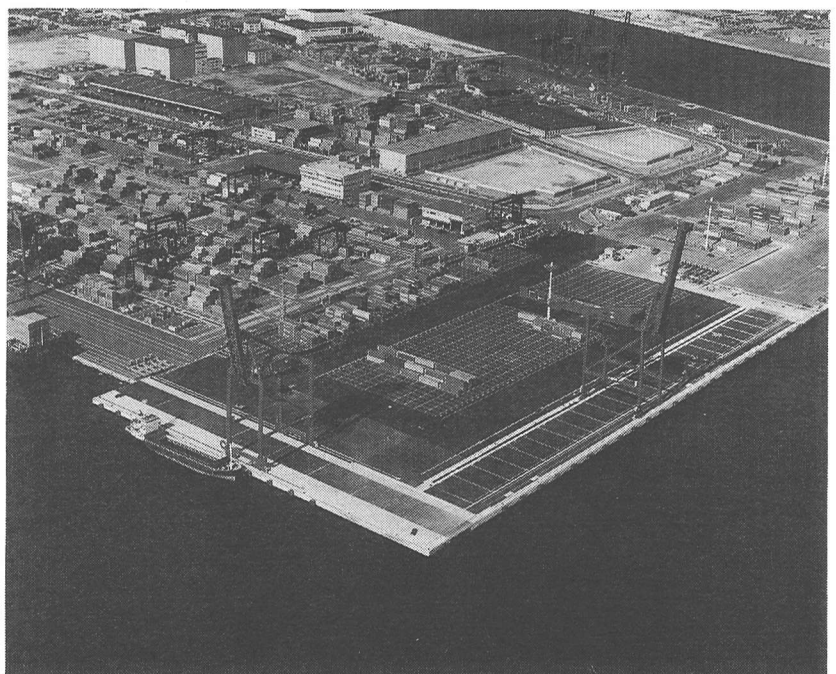
しかし、当岸壁が

- ①国の緊急仮設栈橋に含まれたこと
- ②隣接する岸壁の復旧断面との整合性を考慮して施工する必要があったこと

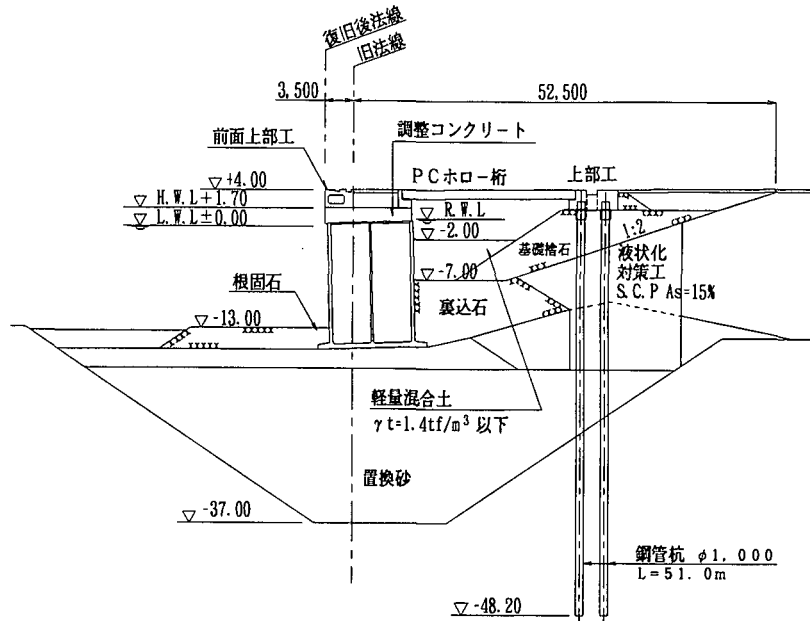
などから、ケーソンをそのままの状態を利用し、軽量混合土で背面土圧の軽減を図り、早期復旧させる工法に変更となった。

### 4. 復旧断面および設計上の考え方

軽量混合土を用いて背面土圧軽減を図った完成全景を(写真-2)に、また復旧断面図を(図-3)に示す。



(写真-2) 完成全景



(図-3) RL-2岸壁復旧断面図

ケーソンをそのまま利用し耐震性を向上(設計震度を0.15→0.20)させるためには、ケーソンの安定上、背面地盤高を、

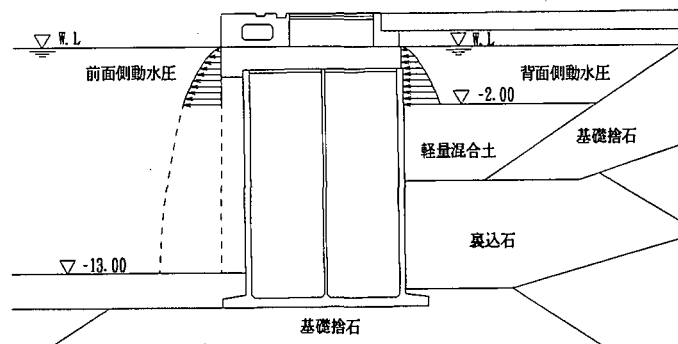
- ①「地震時土圧」に対して-7.0m以深にする必要がある。
- ②「地震時動水圧」に対して-2.0m以浅にする必要がある。
- ③さらに、-2.0m~-7.0mの軽量混合土による改良体は自立固化体とし、その単位体積重量は上載荷重として重量軽減そして改良体の滑動防止から $\gamma = 1.4 \text{ tf/m}^3$  (水中単位体積重量  $\gamma' = 0.4 \text{ tf/m}^3$ ) 以下とする必要がある。

すなわち、軽量混合土の設計上の考え方は、

- ①設計一軸圧縮強さを $1.0 \text{ kgf/cm}^2$ 以上とし、軽量混合土全体を1つのブロックと考え、ケーソンに土圧は作用させないとし、上載荷重として扱う。
- ②軽量混合土の面積は、地震時主働崩壊面を覆う範囲を目安とする。
- ③この時、軽量混合土全体は1つのブロックとしているので自重による地震時水平慣性力によって滑動しないことを重力式構造物の安定計算により確認する。

とした。

地震時土圧作用図を(図-4)に示す。



(図-4) RL-2岸壁地震時土圧作用図

## 5. 工事内容

### 5. 1. 工事内容

#### 1)液状化対策工

(表-1) 施工数量 (主要工種)

液状化対策工	As=15%、 $\phi$ 0.70 c. t. c 1.60m	19,959m
鋼管杭打設工	$\phi$ 1,000 $\times$ t12, SKK490 L=48.5~56.0m	192本
海側上部工	24-12-20BB	1,577m <sup>3</sup>
基礎捨石投入均し工	10~200kg/個	32,520m <sup>3</sup>
陸側クレーン基礎工	24-12-20BB	3,879m <sup>3</sup>
軽量混合土工	PMC工法	12,312m <sup>3</sup>
根固石投入均し工	10~200kg/個	5,438m <sup>3</sup>
PCホロー桁工	H=1.0m, 1.2m L=21.6m	377本

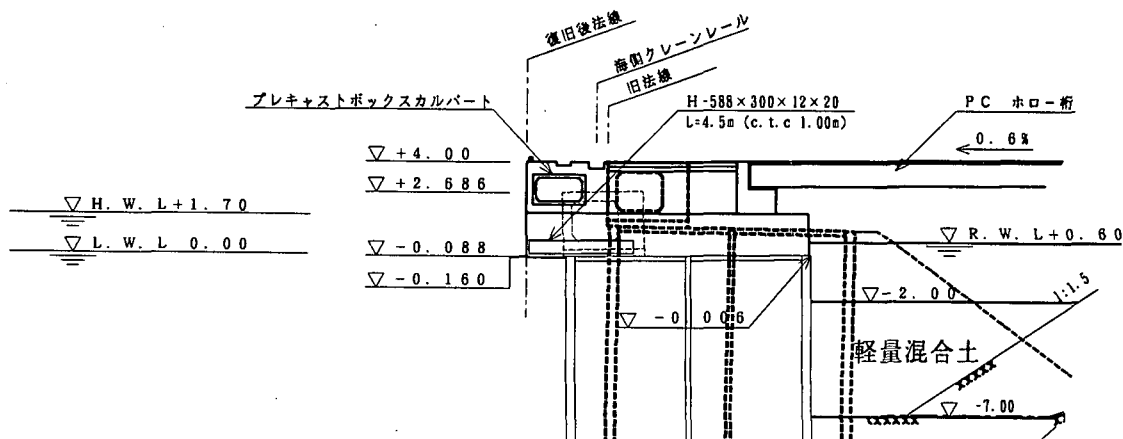
既設ケーソン背後の地盤は、これまで「液状化しない」と考えられていたまさ土（六甲山系の花崗岩が風化した土砂）で埋立てられている。レキからシルトまで広範囲の粒径を持つ性状のよい土で、これまでの基準では液状化の恐れはないとされていた。神戸港ではこのまさ土が広範囲に被害を受け側方流動によって構造物の基礎が大きく押し動かされる現象も起きた。本工事の液状化対策としては、一般的なSCP工法による締固め（As=15%、 $\phi$ 0.70 c. t. c 1.60m）を採用した。

#### 2)鋼管杭打設工

鋼管杭打設に先立ち、埋立(まさ土)地盤に転石（50~1,000kg/個程度）が多く含まれていることおよび潜堤があることから、置換砂の下端までケーシング回転掘削工法（スーパートップ工法使用）による砂への置換方法にて除去した。杭下端についてはボーリングによる調査を実施して、N値50以上の支持層を確認し杭の下端を1D以上根入れさせる（杭下端深度；KP-54.2m~KP-45.2m）ことで決定している。また、鋼管杭（ $\phi$ 1,000 $\times$ t12, SKK490）については、杭長が長尺（L=48.5~56.0m）なので、3本構成の継ぎ杭構造とした。

#### 3)海側上部工

海側上部工については、ケーソンの被災が一律でないことにより、最大変位箇所のケーソンに復旧後岸壁法線を合わせて前出し（旧法線から3,500mm）を行うこととした。上部工のケーソンからの張り出しについては、調整コンクリート（上部工の高さを調整するための調整用ベースコンクリート）に張り出し幅に応じて、埋込み鋼材（H250 $\times$ 250 $\times$ 9 $\times$ 14~H588 $\times$ 300 $\times$ 12 $\times$ 20）を設置した。調整コンクリートに作用する上載荷重によって生じる曲げモーメントに対しては、埋込み鋼材のみで抵抗するものとし、せん断力に対しては、コンクリートと鋼材が一体となって抵抗するものとして断面を決定した。（図-5）



(図-5) 海側上部工断面図

4)基礎捨石投入均し工

基礎捨石の必要性を以下に示す。

①陸側クレーン基礎工の施工時における、工程短縮のための底型枠としての機能。

ケーソン陸側下端より引いた主働崩壊面より上部の捨石の重量を、上載荷重として安定計算に考慮するため、できるだけ法面勾配(1:1.5)を立てることにより荷重の低減を図っている。

②軽量混合土打設時の側面型枠としての機能。

直線すべりを起こさない内部摩擦角； $\phi = 40$ 度以上の材料を使用する必要がある。

上記の要因により、断面を決定した。

5)陸側クレーン基礎工

陸側クレーン基礎は、P Cホロー桁の陸側桁受けを兼ねる構造であり、ガントリークレーン係留装置(転倒防止金物・逸走防止金物・ジャッキアップ金物)も納まるように、天端幅(6.00m)を確保した。

6)軽量混合土工

工程短縮を図るためにPMC専用船(時間当たり圧送能力； $250\text{m}^3$ )を使用することとした。

7)根固石投入均し工

根固石については、ケーソン前面の受動抵抗確保のために必要となる。形状については、地震時の捨石崩壊角および捨石部の滑動に対する安定から決定した。

8)P Cホロー桁工

P Cホロー桁は、海側上部工目地間隔(ケーソン延長1函分)と同様の1橋当たりの復員を12.5mとし、支承の高さの狂いが微妙に桁どうしの横締めに影響することから工場製作した桁(B=700mm)を1本ずつ架設し、16本を横締めしてひとつのブロックとする構造とした。

5. 2. 工事工程

緊急仮設栈橋埠頭は、上記設計の基本的考え方に基ついて、厳密な工程管理のもと現地着工後8ヶ月強という早さでコンテナ本船用1バースの供用を迎えることが可能となった。(表-2)に実施工程表を示す。

(表-2) 実施工程表

工 種	単位	数量	平成7年									8年
			4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月
準備工	式	1	—	—								
撤去工	式	1		—	—		—	—				
液状化対策工	m	19,959		—	—							
鋼管杭打設工	本	192			—	—	—					
海側上部工	$\text{m}^3$	1,577				—	—		—	—	—	
基礎捨石投入均し工	$\text{m}^3$	32,520							—	—		
陸側クレーン基礎工	$\text{m}^3$	3,879								—	—	
軽量混合土工	$\text{m}^3$	12,312								—	—	
根固石投入均し工	$\text{m}^3$	5,438									—	—
P Cホロー桁工	本	377									—	—
舗装工	式	1										—
付属工	式	1										—
後片付け工	式	1										—

## 6. 軽量混合土（PMC工法）の特徴

PMC工法は、事前混合処理技術の1つで、粘土およびシルトを主体とする海成粘土や浚渫土にセメント系、石灰系の固化材を混合して低強度（おおむね一軸圧縮強さ5.0kgf/cm<sup>2</sup>以下）の改良土とし、有効活用（土圧軽減など）するものである。

加えて、水砕スラグ（水中単位体積重量  $\gamma' = 0.7 \text{tf/m}^3$ ）より軽く、粘土の特性を活かし単位体積重量の経時変化が少ない安定した埋戻し材料をつくることができる。

特徴をまとめると、

- ①浚渫土砂処分量の低減および有効利用が図れる。
- ②改良効果の発現が早く早期に埋立地が利用できる。
- ③固化材の配合によって必要な強度が確保できる。

である。

この軽量混合土を背面土圧軽減工法として岸壁本体に採用した事例は、今回初めてである。

## 7. 軽量混合土の配合

設計上必要な湿潤単位体積重量は、 $\gamma = 1.4 \text{tf/m}^3$ 以下である。また、現場一軸圧縮強さは、1.0kgf/cm<sup>2</sup>以上としているため、目標室内一軸圧縮強さを過去の実績を踏まえて、固化強度比（現場一軸圧縮強さ/室内一軸圧縮強さ） $\lambda = 0.5$ より2.0kgf/cm<sup>2</sup>以上とした。

### 7. 1. 改良対象の土質性状

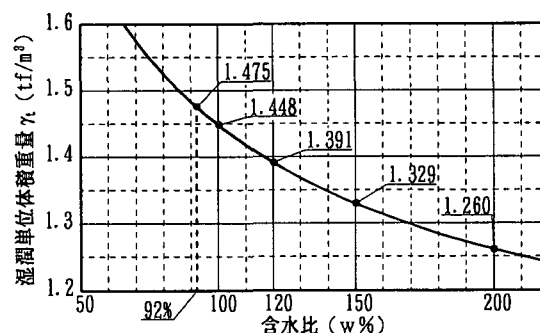
改良対象には、神戸港ポートアイランド沖で採取した浚渫粘性土を用いた。浚渫粘性土の土質性状を（表-3）に示す。

（表-3）浚渫粘性土土質性状

湿潤密度 $\rho_s (\text{g/cm}^3)$	1.414~1.475	乾燥密度 $\rho_s (\text{g/cm}^3)$	0.688~0.768
土粒子密度 $\rho_s (\text{g/cm}^3)$	2.633~2.659	自然含水比 $w_n (\%)$	92.0~107.37
液性限界 $w_L (\%)$	80.9~105.4	塑性限界 $w_p (\%)$	32.2~39.3
強熱減量 $lg. loss (\%)$	8.2~9.3	分類名	粘土
粒度	4 $\phi$ (%)3.2~5.0	砂分(%)9~20	細粒分(%)75~87

また、この浚渫粘性土の湿潤単位体積重量（ $\text{tf/m}^3$ ）と含水比（%）の関係を（表-4）に示す。

（表-4）湿潤単位体積重量と含水比の関係



室内配合試験は、設計上必要な湿潤単位体積重量  $1.4\text{tf}/\text{m}^3$  以下に対して、管理値を  $1.35\text{tf}/\text{m}^3$  とし、含水比を140%以上に増大させる方法（加水）で行った。

### 7. 2. 室内配合試験

含水比の範囲を、軽量化のため140%以上で、しかも材料分離が生じない自然含水比の2.3倍以下とした。

すなわち、含水比は140%, 170%, 230%の3ケースとし、またセメント（高炉B種）添加量を50, 70, 90, 110  $\text{kg}/\text{m}^3$  として、配合試験を行った。（表-5）

（表-5）配合試験結果

調整含水比 (%)	湿潤密度 ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	添加量 ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )	一軸圧縮強さ ( $\text{kgf}/\text{cm}^2$ )		湿潤密度 ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	
			測定値	平均	測定値	平均
136.4 (140)	1.361	50	1.25	1.32	1.37	1.36
			1.40		1.36	
			1.32		1.36	
		70	2.48	2.64	1.36	1.36
			2.68		1.36	
			2.76		1.36	
		90	4.65	4.81	1.36	1.36
			5.26		1.37	
			4.52		1.36	
		110	6.32	6.59	1.38	1.37
			6.32		1.37	
			7.13		1.37	
166.1 (170)	1.310	50	1.09	1.03	1.32	1.31
			1.06		1.31	
			0.93		1.30	
		70	2.24	2.16	1.32	1.32
			2.22		1.31	
			2.03		1.32	
		90	3.11	3.15	1.32	1.32
			3.37		1.32	
			2.97		1.32	
		110	4.84	4.88	1.33	1.33
			5.02		1.33	
			4.79		1.34	
220.5 (230)	1.242	50	0.61	0.64	1.26	1.26
			0.67		1.26	
			0.65		1.25	
		70	2.00	1.68	1.26	1.26
			1.24		1.24	
			1.79		1.27	
		90	2.09	1.96	1.28	1.26
			1.99		1.27	
			1.79		1.22	
		110	2.24	2.45	1.28	1.28
			2.55		1.28	
			2.55		1.27	

### 7. 3. 現場配合の決定

配合試験より含水比140%は、湿潤単位体積重量  $1.35\text{tf}/\text{m}^3$  をわずかに上回る測定値が認められた。

すなわち、当現場配合では浚渫粘性土の調整後の含水比を150%として、セメントの配合を（表-6）に示す値とした。

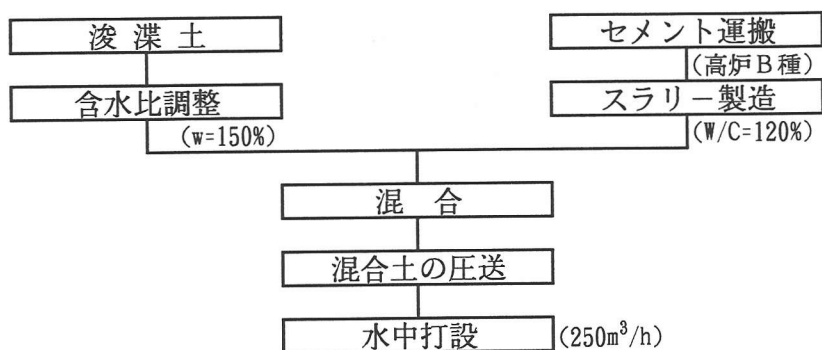
（表-6）配合表 改良対象土  $1\text{m}^3$  当り

セメント	添加量	混和剤	水	W/C
高炉B種	$70\text{kgf}/\text{m}^3$	$\text{C} \times 0.2\%$	海水	120%

施工後の軽量化の確認は、水中から採取した供試体により行った。

### 8. 軽量混合土の施工

PMC工法の施工フローを（図-6）に、また施工状況を（写真-3）に示す。



(図-6) PMC工法の施工フロー



(写真-3) 軽量混合土施工状況

## 9. あとがき

PMC工法による改良土は、人工島や埋立工事の安定した地盤造成、護岸の裏込め材、大水深護岸のマウンド中詰め材や漏出防止工、廃棄物処理場の止水工、液状化の防止対策、浅場造成等、多目的に利用することができる。また、近年、建設副産物に関する処理技術や処分場の確保は、社会的な問題となっている。建設工事で発生する残土や港湾工事における浚渫土砂処分量の減量化およびリサイクル技術として、本工法は社会的ニーズに応える工法といえる。

六甲アイランドで、軽量混合土を採用することによって、期待された設計断面が得られるとともに、現場施工が可能であることが実証された。今後、さらに港湾構造物の裏込め材として適用の拡大が期待される。

## 参 考 文 献

- 1) SGM研究会：港湾・海洋環境を対象とした軽量混合地盤材料，（SGM）技術資料(案)，1995，沿岸開発技術研究センター
- 2) CDM研究会：セメント系深層混合処理工法，設計と施工マニュアル，1994，CDM研究会事務局