

(107) 根入れ鋼板セル護岸の地震観測

運輸省港湾技術研究所 野田節男 住友金属工業 飯田 毅
 運輸省港湾技術研究所 倉田栄一 住友金属工業○武藤裕之

1 緒言

根入れ鋼板セルに関して、模型振動実験に基づき提案した設計法^{1),2)}の妥当性検証とより合理的設計法へ発展のための基礎データ入手を目的に、実護岸の地震時挙動を1984年2月より約4年間実施した。観測結果については、既に一部発表済^{3)~5)}につき、ここでは、観測については概要の記述にとどめ、主として有限要素法による地震応答解析や提案設計法による安定計算との比較結果について報告する。

2 観測概要

観測対象の根入れ鋼板セルは住友金属工業(株)和歌山製鉄所西防沖で建設されたもので、セル寸法φ19.5m×h20.0m×t12.0mm、根入れ深さ6mである。構造概要並びに計測位置は図1に示すとおりである。

1984年に観測開始以来、1988年3月迄の約4年間に震度I, IIが大半ながらも52の地震記録が得られた。このうち、比較的加速度の大きいもの、卓越振動数が高いもの、低いものなどの例として、地震の諸元と地盤、セル天端の最大加速度を表1に、表1の6地震について基礎地盤A8でのフーリエスペクトルを図2に示す。図より、6地震は大略次の3グループに分類できる。(i)震央距離が大きく1Hz以下の低振動数成分が卓越する地震波：No.13, No.17, (ii)震央距離が小さく1.2~2.5Hz成分が卓越する地震波：No.23, (iii)震源距離がより小さく(ii)に加えて5~10Hzの高振動数成分を含む地震波：No.8, No.27, No.41。したがって、約4年間の地震観測において地震波の周波数特性の観点からは比較的豊富なデータを入手できたといえる。

次に、これらの地震発生時に得られた各部の観測波形を用いてセル天端の伝達関数、護岸各部の伝達関数並びに加速度及び土圧の最大値分布、同一時刻における加速度、土圧の分布を求めた。検討結果の要約は次のとおりである。詳細については文献^{3)~5)}を参照されたい。

- (a)地震時のセルの挙動においては固有振動数約2Hzの1次モードのロッキング振動が卓越している。
- (b)地震時の前壁土圧及び底面反力の分布は、セルのロッ

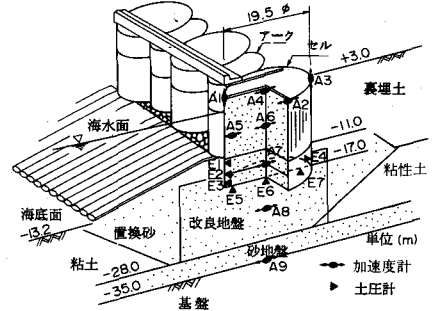


図1 根入れ鋼板セル護岸の概要

表1 観測表

地震 No.	8	13	17	23	27	41	
発生年月日	1984 6.25	1984 8.7	1984 9.14	1985 1.6	1985 4.14	1985 12.9	
震源地	和歌山 北部	日向灘	長野県 西部	和歌山 北部	和歌山 北部	和歌山 北部	
マグニチュード	4.4	7.1	6.8	5.5	4.0	3.3	
震源深さ (km)	6	33	2	69	9	8	
震央距離 (km)	4	344	284	41	14	7	
和歌山の震度	III	—	I	III	II	III	
最大 加速度 (Gal)	基盤 (A9)	33	4	2	9	24	2
	セル天端 (A4)	61	6	5	16	17	4

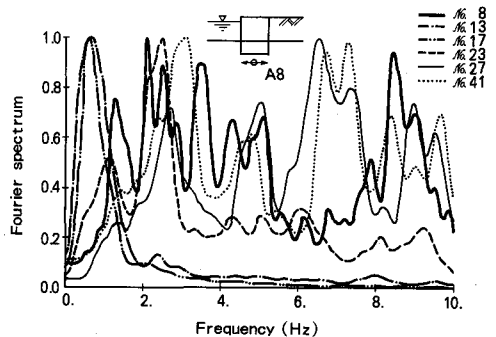


図2 地盤のフーリエスペクトル

キング振動に基づく分布形を示しており、既往の模型振動実験結果^{1), 2)}とも対応している。また、土圧の動的成分は必ずしも加速度レベルに対応せず変位を考慮した検討が今後必要と考えられる。

(c)地震時の中詰土加速度において、高さ方向での位相の逆転例や中詰土内同一高さ位置での位相のずれ及び加速度の違いの例などから、实在構造物においても中詰土慣性力の算定に関する有効質量係数¹⁾の考え方を裏付けるデータが得られた。

3 有限要素法による地震応答解析

根入れ鋼板セル護岸の動的応答特性を把握するとともに地震時挙動を表現できる解析手法を得るため、ここでは有限要素法による応答解析を行い観測結果と比較した。用いたプログラムはFLUSHの修正版⁶⁾であり、護岸構造物のように左右の地盤高さが異なっても伝達境界の効果が入れられるようにしたものである。

モデル化は2次元平面ひずみ問題として図3のように行い節点数300、要素数278とした。土質定数はセル中詰土、セル直下の地盤についてはPS検層の結果を、その他についてはN値及び一軸圧縮強度 q_u からの換算値を用いた。また、地盤のせん断弾性定数と減衰定数のひずみ依存曲線としては過去の研究成果から得られた粘性土、砂質土別の平均的の曲線を用いた⁷⁾。

検討用の地震波としては2.で分類された各グループより1つ選定し、地震No. 8, No. 17, No. 23の3地震波とし、また、-35m以深を基盤とみなし、A9における観測波形を入力地震波とした。セル部で得られた加速度、土圧の計算波形の一部を図4に示す。

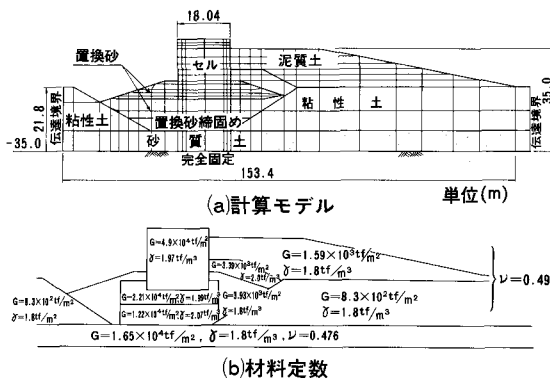


図3 有限要素法計算モデル

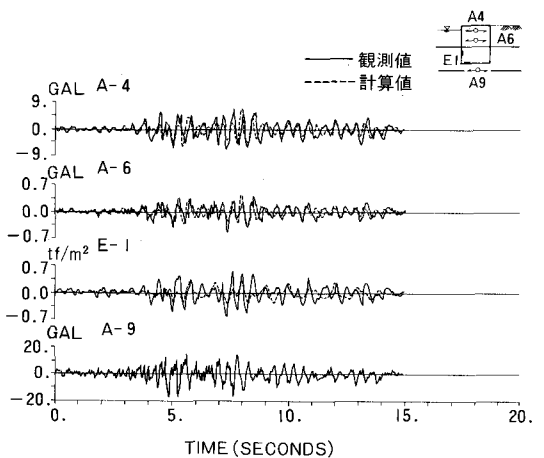
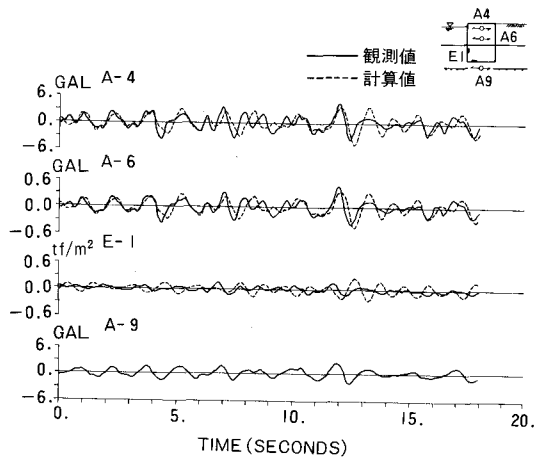
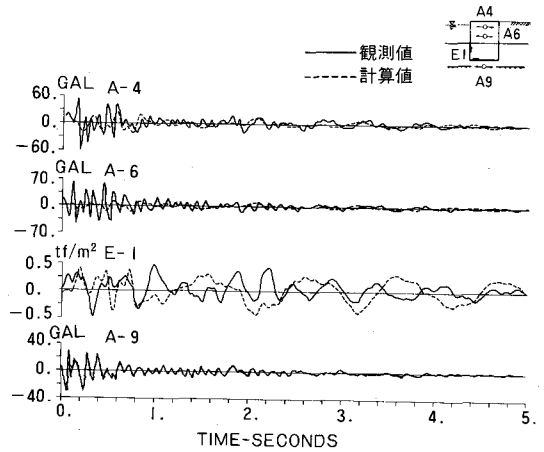


図4 計算波形と観測波形の比較

また、波形の一致度を表す指標として観測波形と計算波形の間の相互相関係数を表2に示す。

図4(a)より、震央距離が短く高振動数成分の卓越する地震No.8では加速度、土圧の両計算波形とも観測波形と良い一致がみられず、表2での相互相関係数も加速度波形で0.18, 0.33と低い。図4(b)より、震央距離が大きく低振動数成分の卓越する地震No.17での加速度計算波形は観測波形と非常に良い一致を示し、相互相関係数も0.68, 0.76と高い。土圧計算波形については卓越成分の振動数は似かよっているが振幅に関しては観測値より大きい値を示した。図4(c)より、震央距離が上記2地震の中間の地震No.23での加速度計算波形は観測波形と良く一致し、相互相関係数も0.53, 0.58を示した。

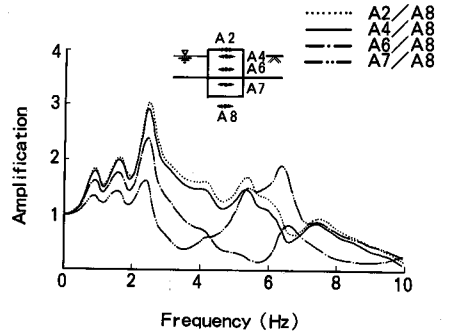
次に、図3での計算モデルの振動特性把握のため基盤にホワイトノイズを入力し護岸各部の伝達関数を求めた。得られた伝達関数と観測波よりのそれをあわせて図5に示す。ホワイトノイズは振動数0.1~20Hzの範囲で加速度振幅30Galの正弦波により作成したものである。図5より、いずれの場合も2Hz前後に最大のピークがあり、1次のロッキング振動と考えられる。また、5~7Hzに2次モードの第2のピークがみられる。しかし、観測波の伝達関数での9Hz付近の第3のピークはホワイトノイズの場合ではみられない。したがって、地震応答解析で用いたモデルは約2Hz前後の1次モードをほぼ正確に表現しているが、4~5Hz以上の振動数領域では必ずしも実護岸の特性を表し得ていないと判断でき、このことは図4での計算波形と観測波形の一致の度合を裏付けている。

4 地盤をバネに置換する安定計算

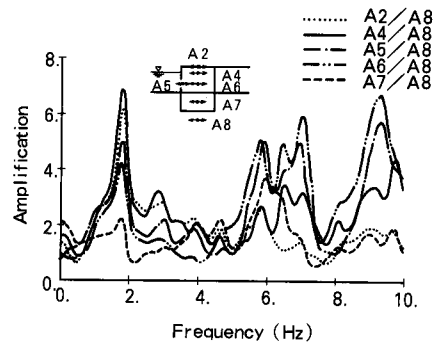
根入れ鋼板セルの地震時安定計算法として著者らはセルを重力式壁体とみなし支持地盤をバネに置換する方法を提案した¹⁾。これらの成果は文献8)の指針に反映され、既に一部で活用されている。ここでは、実セルにおける地震観測値を用いて計算値と比較し指針の妥当性の検証を試みた。地震応答解析で用いた地震No.8, No.17, No.23の3地震について根入れ部前壁土圧と底面反力の動的成分に関する計算値と観測値の比較を図6に示す。計算値の動的成分は、設計震度を零とした場合の値を差し引くことにより求めた。図6より、根入れ部前壁土圧の計算値は、下部から上部に行くに従い大きい逆三角形分

表2 相互相関係数

	地震No.8	地震No.17	地震No.23
天端加速度(A4)	0.33	0.68	0.59
中詰土加速度(A6)	0.18	0.76	0.53
根入れ前壁土圧(E1)	0.11	0.33	0.19



(a) ホワイトノイズ (計算モデル)



(b) 和歌山県北部地震No.8 (観測値)

図5 護岸各部の伝達関数

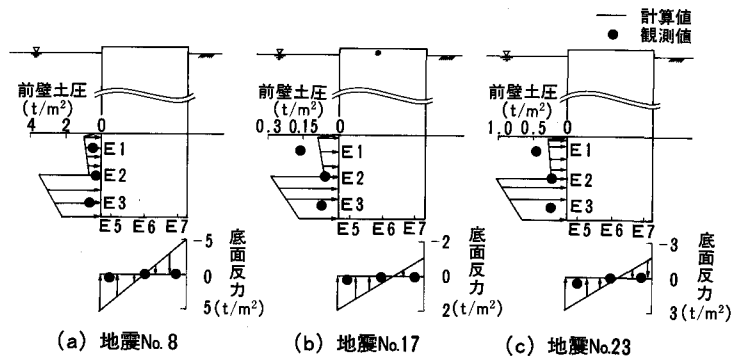


図6 土圧の動的成分に関する観測値と設計計算値の比較

布を示し、観測値と同様の傾向を示している。なお、計算値がE2位置を境に上方で小さく下方で大きいのは、上方の地盤反力係数を下方のそれの1/5と低く評価しているためである。底面反力の計算値は観測値よりかなり大きい、分布は前趾側、後趾側で大きくセル中心で零に近い値を示し、観測値と同様の傾向にある。

地盤加速度A9が最大値を示した地震No.8(33Gal)について、根入れ部前壁土圧と底面反力に関する地震時土圧の観測値と計算値の比較を図7に示す。なお、ここでの前壁土圧と底面反力の観測値は、動的成分の最大値にそれぞれ $1/2 \sum \gamma h$ 及び $\sum \gamma h$ で求まる静止土圧を加えたものである。次に、他の地震記録についても同様の設計計算を行い、セルの地震時挙動を顕著に反映すると考えられる根入れ部前壁土圧E1と底面反力E5について観測値と比較した。支持地盤A7での加速度に対するこれら土圧の比較結果をそれぞれ図8、図9に示す。

図7～図9より、得られた加速度レベルの範囲では全般に提案設計法による計算値は観測値より大きい、すなわち、計算で得られる地盤反力は地盤の許容値に達しやすく、提案設計法は安全側の結果を与えるといえる。

5 結言

- (1) 約4年間で震度Ⅲ以下ながらも52の地震を取得した。地震波の振動特性面からみると、低振動数成分卓越型(1Hz以下)、高振動数成分卓越型(1~10Hz)、中間型(1.2~2.5Hz)の3種類が存在し、比較的豊富なデータを入手できた。
- (2) FLUSH修正版による応答計算結果は直下型で高振動数成分まで含む地震No.8を除き、観測値と比較的良好一致を示すことから、本手法によりセル構造物の地震時挙動をある程度推定可能である。
- (3) 提案設計法による地盤反力の計算値は、前壁土圧及び底面反力の観測値の分布形状と同様の傾向を示し値は常に観測値より大きいことから、地盤の許容値に達し易いため提案設計法は安全側で合理的な結果を与える。

参考文献

- 1) 野田, 北澤, 飯田, 森, 田淵; 根入れ鋼板セルの耐震性に関する実験的研究, 港湾技研報告, 21-3, 1982
- 2) 野田, 北澤, 飯田, 森, 田淵; 根入れ鋼板セル護岸の模型振動実験, 第6回日本地震工学シンポジウム, 1982
- 3) 野田, 飯田, 武藤, 森, 田淵; 根入れ鋼板セル護岸の地震時挙動の観測, 第18回地震工学研究発表会講演概要, 1985
- 4) 野田, 飯田, 倉田, 武藤, 森, 田淵; 根入れ鋼板セル護岸の地震時挙動の観測, 第7回日本地震工学シンポジウム, 1986
- 5) Noda, Iida, Kurata, Muto, Mori, Tabuchi; Earthquake Observation of An Embedded Steel Plate Cellular Bulkhead, 9WCEE, 1988
- 6) 稲富, 風間, 今村; 深層混合処理法による改良地盤の地震時挙動, 港湾技研報告, 21-4, 1982
- 7) 北澤, 檜垣, 野田; 沖縄県及び奄美諸島の大地震における地震加速度, 港湾技術資料, No. 396, 1981
- 8) (財) 沿岸開発技術研究センター; 根入れ式鋼板セル設計指針, 1985

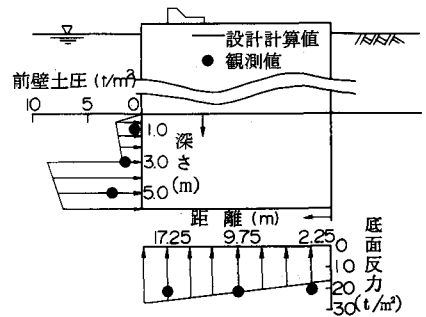


図7 地震時土圧の観測値と設計計算値の比較

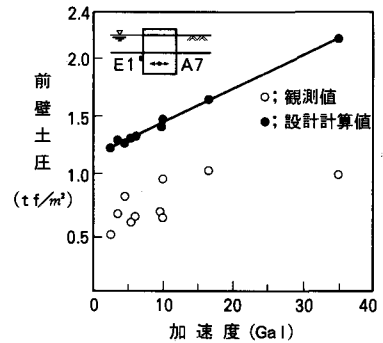


図8 前壁土圧の観測値と設計計算値の比較

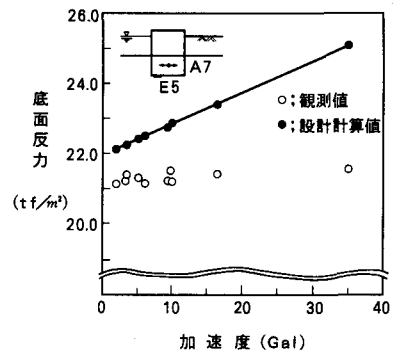


図9 底面反力の観測値と設計計算値の比較