

(108) 根入れ鋼板セル護岸の地震時挙動の観測

運輸省港湾技術研究所 正員 野田節男 住友金属工業 正員○飯田 毅
 住友金属工業 正員 武藤裕之 清水建設 正員 森 信夫
 東亜建設工業 正員 田淵 博

1. 緒 言

新形式護岸構造物の根入れ鋼板セルについては大型模型の静的水平載荷実験や振動破壊実験等に基づき、支持地盤をばねに置換した設計法が提案されており、¹⁾既に一部で活用されつつある。しかし、本設計法が今後広く用いられるためには実在構造物での地震応答の観測等による妥当の検討並びにより合理的設計法へ発展のための基礎データ入手が望まれた。そこで、実護岸について地震時セル挙動、セルに働く土圧等を1984年2月より観測中である。ここでは、観測システム・今迄に得られた観測結果並びに提案設計法による安定計算との比較結果の概要について報告する。

2. 観測内容

2.1 根入れ鋼板セル護岸の概要と地盤条件

観測用護岸は住友金属工業(株)和歌山製鉄所西防沖で施工された根入れ鋼板セルで、構造の概要を図1に示す。使用されたセルは、 $\phi 19.5m \times h 20.0m \times t 12.0mm$ 57基、アークは、 $108m \times h 20.0m \times t 9.0mm$ 116枚であり、根入れ深さはセル、アークとも6m、護岸延長距離は1,245mである。原地盤は海底面から18~22m深さ迄、シルト質粘度の軟弱地盤であるが、セル区域地盤は床掘、置換砂が施され、さらにサンドコンパクションパイルにより地盤改良されている。観測対象としたセルでの中詰土部を含めての土質柱状図並びにPS検層によるS波伝播速度を図2に示す。

2.2 観測装置

計測項目は、①地盤、中詰土、セルの加速度、②セル根入れ部前壁土圧、底面反力、裏埋土圧であり、それぞれサーボ型加速度計9点、2次ダイヤフラム式差動トランス型土圧計7点を、また、記録計については電磁オシログラフを用いた。観測位置を図1に示す。変換器の設置法として、側壁土圧計についてはセル打設前にセル殻に取付けたが、底面反力計測用土圧計及び加速度計についてはセル打設及び中詰後、所定深度迄ボーリング孔を掘削することにより設置した。

3. 観測結果

3.1 観測地震

1984年2月に観測を開始して以来、この1年2ヶ月で震度I、IIが大半ながらも31地震において記

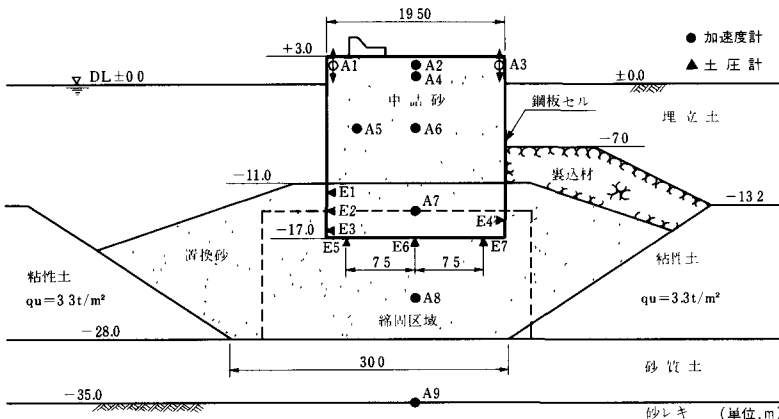


図1 根入れ鋼板セル護岸

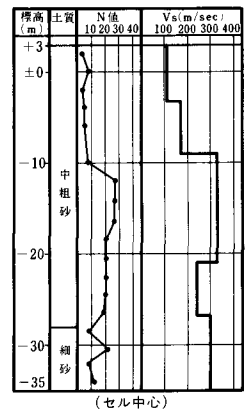


図2 土質柱状図

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、低いもの等を例として、地震の諸元と地盤、セル天端の最大加速度を表1に、また、表1の記録No.8, No.17の加速度並びに土圧波形の一部を図3に示す。表1, 図3よりわかるように、加速度が最大の地震は1984年6月25日発生の和歌山県北部沿岸を震源地とした震央距離が約4Kmの記録No.8であり、震源が浅く直下型で卓越振動数は高目である。また、記録No.17は1984年9月14日発生の長野県西部地震で遠距離型に属し卓越振動数は低いことに特徴がある。

3.2 振動特性

上記の2記録に加え1984年8月7日に日向灘に発生した記録No.13及び震央距離が約40Kmの記録No.23を用いて護岸の振動特性を検討した。

図4はこれら4地震について、護岸の基礎地盤A8における記録のフーリエスペクトルであり、震央距離の大きい地震による約1Hz, 震央距離の小さい地震による9Hzの成分の卓越が認められる。

図5は上記4地震についての基礎地盤A8に対する護岸天端A4の周波数伝達関数である。いずれの地震においても約2Hzにピークが発生しているが地震動の加速度が小さいため加速度レベルによる差異は明確ではない。

図6は記録No.8より求めたセル体各部の応答特性である。約2Hzのピークはセル殻と中詰土が一体として振動し、回転中心がセル下端より下方にあるロッキング振動の1次モードによるものである。6Hz以上のピークはセル殻内の中詰土の振動特性によるものと考えられる。

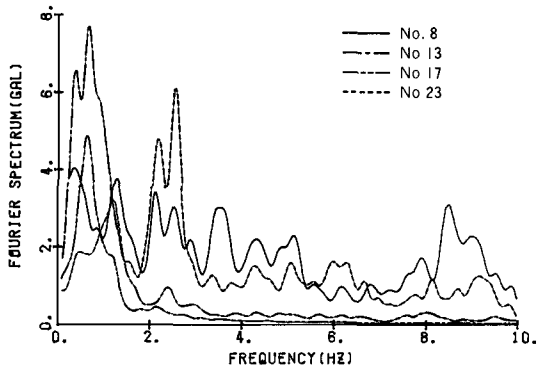
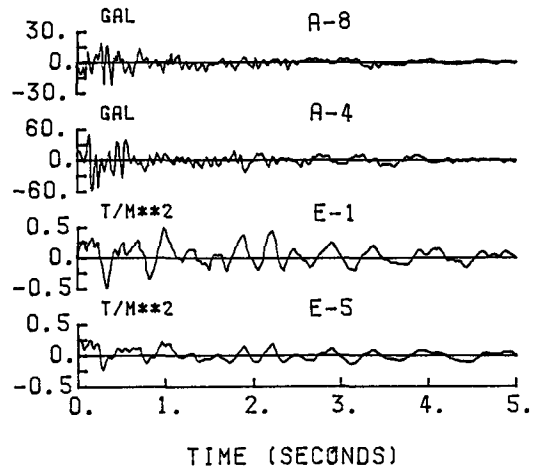


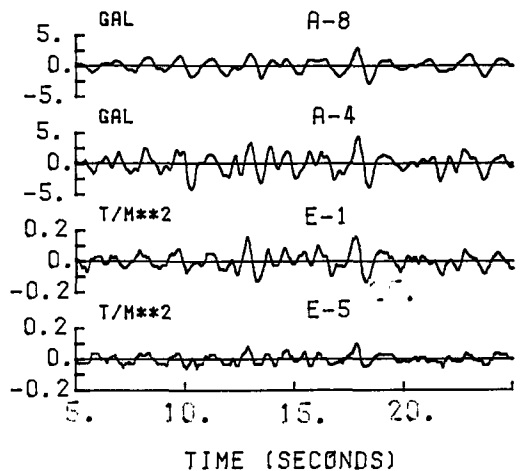
図4 地盤のフーリエスペクトル(A8)

表1 観測表

記録No.	7	8	12	13	17	23	25	
発生日月	1984 5.30	1984 6.25	1984 8.2	1984 8.7	1984 9.14	1985 1.6	1985 1.28	
震源地	兵庫県 南西部	和歌山 北部	和歌山 北部	日向灘	長野県 西部	和歌山 北部	和歌山 北部	
マグニチュード	5.6	4.4	3.0	7.1	6.8	5.5	3.6	
震源深さ(Km)	17	6	8	33	2	69	7	
震央距離(Km)	96	4	7	344	284	41	4	
震度	II	III	II	-	I	III	II	
最大 加速度 (gal)	地盤	5	33	3	4	2	9	13
	セル 天端	10	61	2	6	5	61	30



(a) 和歌山県北部地震(No.8)



(b) 長野県西部地震(No.17)

図3 記録波形

3.3 地震時挙動

図7に地震の主要動におけるある瞬間での護岸各部の加速度及び土圧を示す。図7(a)は卓越振動数が小さい記録No.17の1.8秒付近の場合である。セル中心での高さ方向の加速度は、上方ほど大きい直線分布となっている。前壁土圧の動的成分は地表付近ほど大きな値を示し、セル底面反力は前趾及び後趾では符号が逆となっている。また、図5ではセルの1次固有振動数が約2Hzであり、図3(b)より1.8秒付近では1Hz程度の振動が卓越している点から、ここではセルが一体としてロッキング振動している。他方、同一高さにおける加速度はほとんど等しい値を示していることから、中詰土は一体として振動している。

図7(b)は記録No.8で高振動数成分が卓越する0.1~0.3秒の場合である。加速度の高さ方向分布は一様ではなく、同一高さにおける値も符号が異なるほど大きく相違する部分が見られる。図5における6Hz以上の振動特性も考えると、高振動数成分の卓越する地震動に対して、中詰土はかなり複雑な挙動を示すことがわかる。前壁土圧及び底面反力の分布は図7(a)と同様な傾向を示している。

既応の模型振動実験によると、セル根入れ部前壁土圧及び底面反力はセル全体がロッキング振動するとして算定し得ること及びセルに作用する地震力の算定には、中詰土の質量を見かけ上割引く有効質量係数が考えられることが示されている。¹⁾ 図7の地震観測に基づく前壁土圧及び底面反力の分布は、模型振動実験と同様の結果を示している。他方、中詰土の加速度分布は地震動の卓越振動数により高さ方向及び同一高さでも変化している。それゆえ、セルに作用する地震力の算定には、模型振動実験により示された有効質量係数の検討あるいは中詰土の地震応答特性を考慮した検討が必要と考えられる。

4. FEMによる応答計算

根入れ鋼板セル護岸の地震時挙動を表現し得る解析手法を得るため、ここでは有限要素法による計算結果を観測結果と比較した。用いたプログラムは底部に伝達境界を付加したFLUSHの修正版³⁾である。図1の範囲をモデル化し、土質定数はPS検層の結果より求めた。A9における観測波形を入

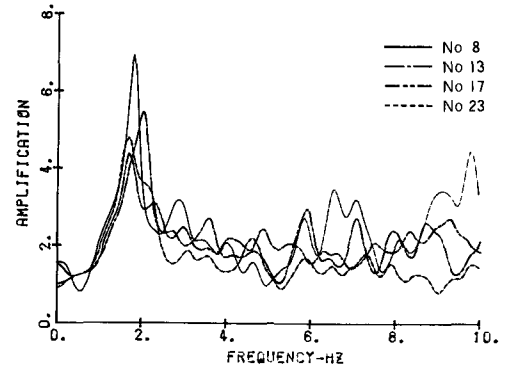


図5 天端の伝達関数(A4)

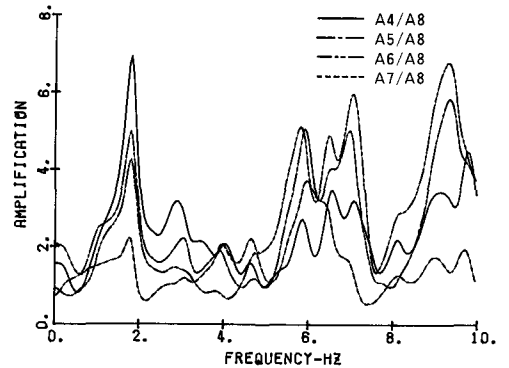
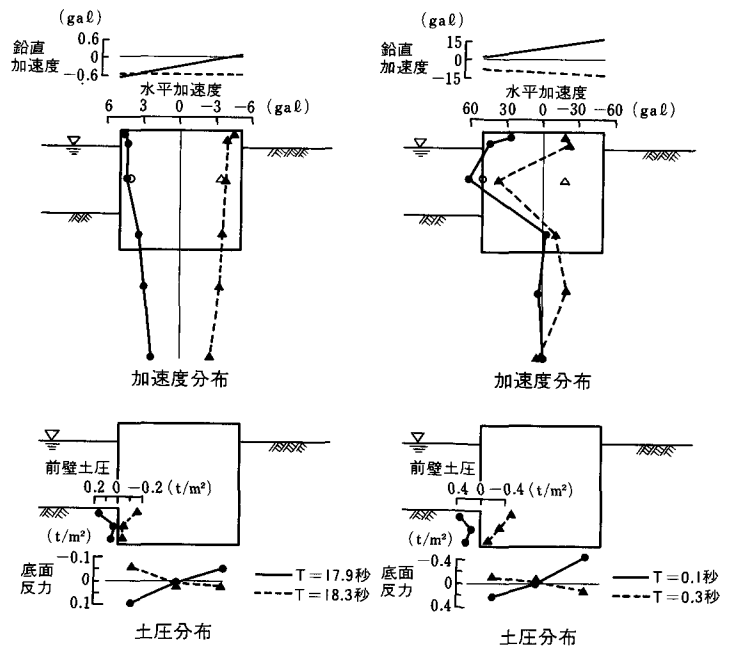


図6 護岸各部の伝達関数(No. 8)



(a) 長野県西部地震 (No.17)

(b) 和歌山県北部地震 (No 8)

図7 加速度、土圧分布

力した計算結果は護岸各部の加速度及び土圧の観測値と比較的良好一致した。一例として図8に記録No.23の結果を示す

5. 提案設計法による安定計算

提案設計法は模型振動実験から得られたもので、地盤をばねに置換した静的解析手法である。詳細については文献1), 2)に譲るが、ばね定数の算定は横山の式⁴⁾によった。地盤加速度が最大の記録No.8(33gal)について、図9に前壁土圧と底面反力に関する観測値と計算値の比較を示す。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 $\frac{1}{2}\Sigma \gamma h$ 及び $\Sigma \gamma h$ で求まる静的土圧を加えたものである。

次に、セルの地震時挙動を顕著に反映すると考えられる前壁土圧E1と底面反力E5について、表1の地震データによる観測値と計算値の比較を図10, 11に示す。

図9~11より、現在までに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な値となっている。

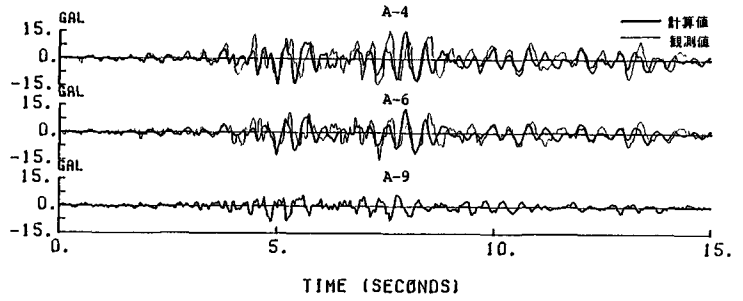


図8 観測値とFEM計算値との比較

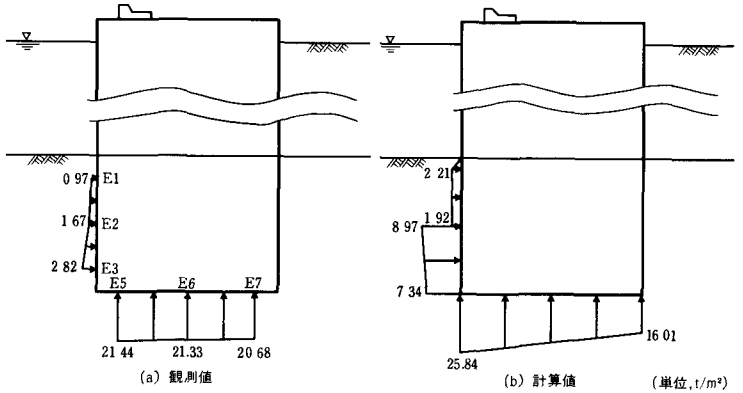


図9 観測値と設計計算値との比較

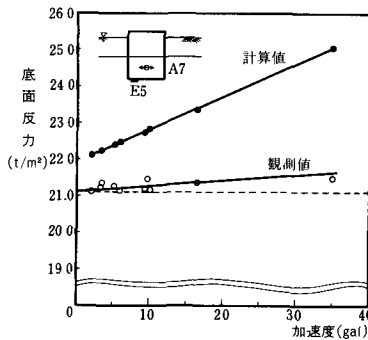


図10 底面反力

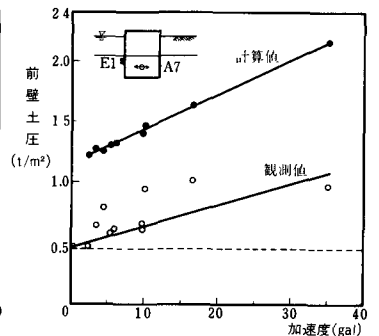


図11 前壁土圧

6. 結言

- (1) 根入れ鋼板セル護岸に地震観測システムを整備し、31地震による記録を取得した。
- (2) セルの1次振動モードは、固有振動数2Hzのロッキング振動である。
- (3) ロッキング振動に基づく前壁土圧及び底面反力の分布が得られた。
- (4) 中詰土の地震時挙動は地震により複雑に変化する。
- (5) 前壁土圧及び底面反力の観測値は提案設計法による計算値より小さい。

なお、観測記録の数値化及びFEM計算には運輸省港湾技術研究所の倉田栄一、福原哲夫両氏に多大な助力をいただいた。

参考文献

- 1) 根入れ鋼板セルの耐震性に関する実験的研究, 港湾技術研究所報告, Vol21, No.3, 1982年
- 2) 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年
- 3) 深層混合処理工法による改良地盤の地震時挙動, 港湾技術研究所報告, Vol21, No.4, 1982年
- 4) 横山幸満; 鋼杭の設計と施工, 山海堂, 1963年