

(83) 根入れ鋼板セル護岸の大型模型振動実験

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
 " 正員 北沢壮介 清水建設 正員 森 信夫
 東亜建設工業 青木宏彦

1. 緒 言

近年、岸壁、護岸などの立地条件として社会の要請から大水深かつ軟弱地盤というケースが多くなる一方、海洋の汚濁防止などの環境上の制約も生じており、これらに対処可能な構造形式の一つとして根入れ鋼板セル構造が有望視されている。本構造に関しては、現在、施工法を開発済¹⁾²⁾で常時に対する設計法についても提案中³⁾であり、残る課題として耐震性の検討があげられている。著者らは小型模型実験など⁴⁾⁵⁾による基礎的研究を進めてきているが、耐震性評価の上で重要な(i)セルの根入れ効果、(ii)中詰土の動挙動、(iii)裏込土および水の影響などにいまだ不明な点が残されているため、実物として直径20~30m位の構造物を対象とし大型模型による振動破壊実験を行なったのでその結果の一部を報告する。

2. 実験概要

模型の種類は表1に示すとおり単体セル(1,000^φ×0.27^tmm)と単体セル3基をアークで連結した3連セルで、根入れの無い置セルタイプ1種類と根入れセルタイプ2種類の計3種類である。実験No.1, 2は単体セル自体の動的挙動を、実験No.3~5は3連セルと裏込土からなる護岸全体の動的挙動、根入れ効果、裏込土の影響などをみるため

のものである。衝撃加振実験には運輸省港湾技術研究所の振動破壊試験装置⁵⁾⁶⁾を使用した。本装置は自由振動型の振動台であり、水平一方向の正弦的自由減衰振動を与えるものである。模型断面図の一例を図1に示す。

実験模型は振動箱(^b4.0×^h2.0×^ℓ8.0m)に湿潤砂を6層に分けていれ、各層をソイルタンパーで締固め、支持地盤を作成後

その地盤上にセル殻を設置し、セル殻内に湿潤砂を中詰したものである。各実験に対する裏込土、水の有無については表1に示す。水入れは地盤、中詰土、裏込土の作成後に実施した。なお、中詰土の締固めは高さ方向を4層に分け各層を人力により踏み固め約5kgウェイトを自由落下させる方法を採用した。裏込土はとくに締固めを行なわずゆる詰めとした。作成地盤の水入れ前の乾燥単位体積重量を表2に、乾燥単位体積重量と内部摩擦

表1 実験の種類と地盤条件

実験No.	セル模型	根入れ長さ セル高さH (H=1,000mm)	実験の種類	地盤条件			
				支持地盤	中詰土	裏込土	水
1	単体セル	0	自由振動実験 常時微動測定 衝撃加振実験			無	無
2	セル	0				無	
3	3連セル	0	常時微動測定 衝撃加振実験	硬	中硬	軟	有
4	セル	1/4					
5	セル	1/2					

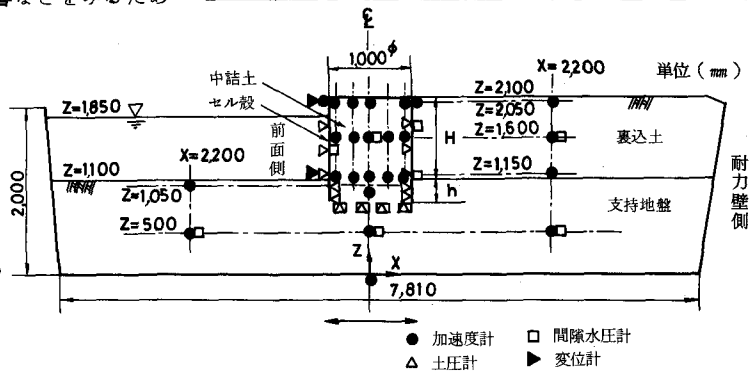


図1 護岸模型断面図(実験No.4)

表2 作成地盤の乾燥単位体積重量

実験No.	支持地盤	中詰土	裏込土	備考
1,2	1.42	1.39 1.35	—	D ₅₀ =0.37mm U _c =2.7
3	1.40	1.39	1.29	w=11.5 ~14.7%
4	1.40	1.40	1.29	
5	1.50	1.42	1.25	

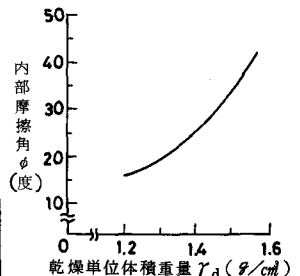


図2 乾燥単位体積重量と内部摩擦角

角の関係を図2に示す。

各実験での加振方法は振動台加速度50~600gal程度を4~5段階に分け段階的に増大させる方法とした。振動数としては約2~5Hzが卓越していた。主な測定項目は①セル殻、中詰土、裏込土、支持地盤の加速度、②中詰土圧、根入れ部支持地盤土圧、底面反力、裏込土圧、③セルの変位、④間隙水圧⑤加振後のセル残留変位、裏込土の沈下量であり、各測定位置についても図1に示す。

3. 実験結果

3.1 地盤、セルなどの加速度

加振時、セル、支持地盤、裏込土に生じる水平加速度の鉛直方向分布の代表例として、実験№3,4の結果を図3,4に示す。なお、これらの図では最初の正負のピーク値を波形間の位相遅れを考慮しないでプロットした。また、加速度の符号は変位モードに対応させるため、セル前面側を負、後面側を正にしている。

図3,4より、①振動台加速度の増加とともに実験№3では中詰土中間部の応答値は下部より小さい分布形を、実験№4の根入れセルタイプでは中詰土下部より上部まで一様増加の分布形を示している。これらの差は根入れの有無によりセルに対する支持地盤の拘束効果が異なるためであり、セルの振動においてロッキング動が卓越していたことから、置セルタイプではセルの回転中心が根入れセルタイプより上部にあるためと考えられる。

次に、振動台加速度とセル天端水平加速度（最初のピーク値）の振動台加速度に対する応答倍率との関係を図5に全ケース分とりまとめて示す。これより、各実験での応答倍率は振動台加速度の増加とともに減少する傾向がみられる。これは地盤内のひずみ増加に起因する地盤の剛性低下と減衰定数の増大によるものと考えられる。なお、実験№1での応答倍率は他より全般に高い。これは水が無い場合に減衰効果が小さいためである。この点に関しては実験№1,2に対する表3の自由振動実験結果からも明らかである。

3.2 動土圧

振動台加速度500gal前後での中詰土圧、根入れ部支持地盤土圧、底面反力、裏込土圧の動的成分について最初の正負のピーク値を実験№3~5を例として図6に示す。図より、①中詰土圧、裏込土圧の動的成分は第1波で増加、第2波で減少の分布形を示す傾向にある。②底面反力の場合、実験№3ではセルセンター部を中心としたセルのロッキング動により第1波で前趾、第2波で後趾の反力が大きい。一方、実験№4,5では第1波での動的成分零の位置はセルセンター部より前壁側にあり、第2波ではセルセンター部にあると

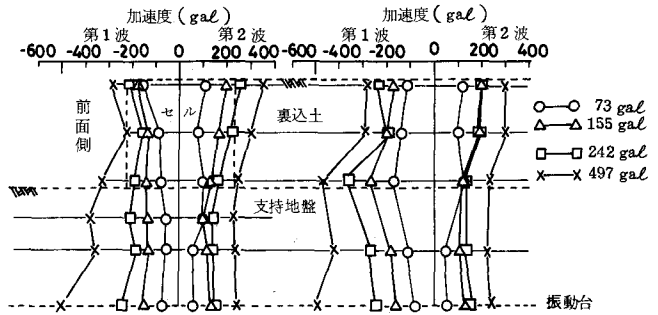


図3 水平加速度の鉛直方向分布 (実験№3)

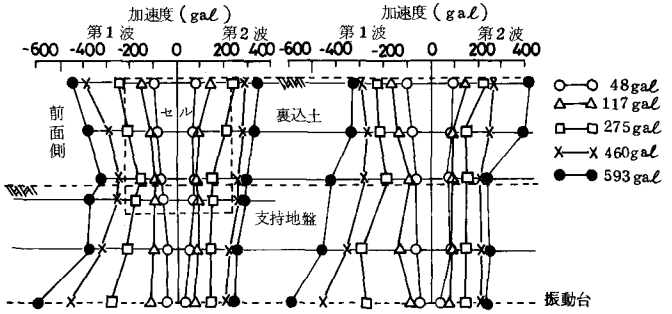


図4 水平加速度の鉛直方向分布 (実験№4)

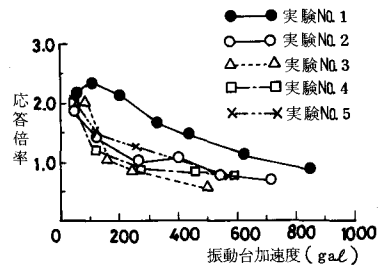


図5 振動台加速度と応答倍率

表3 自由振動実験結果

実験№1 (水無し)			実験№2 (水有り)		
初期変位 δ_i (mm)	固有振動数 f (Hz)	減衰定数 h_d (%)	初期変位 δ_i (mm)	固有振動数 f (Hz)	減衰定数 h_d (%)
—	16.7	2.3	0.06	11.4	8.5
1.61	16.3	2.1	0.16	10.8	8.4
2.86	14.7	3.9	1.62	8.7	11.8

いった分布形を示す。また、加振前の中詰土単位体積重量よりの静土圧推定値が 240 g/cm^2 であることより、第1波後壁側、第2波前壁側で浮上りに近い挙動を呈しているのがわかり、静土圧を加味した最大前趾反力は常時の値の $1.8 \sim 2.5$ 倍となっている。③支持地盤からセル根入れ部前壁に作用する土圧は実験No. 4, 5とも第1波において支持地盤近傍でプラス側の高い値を示し、前壁側地盤により根入れ部に受働土圧が有効に働くかと推定される。

3.3 動的破壊性状

振動台加速度と加振後のセル天端前壁の水平残留変位およびセルの傾斜角を図7, 8に、また、実験No. 3の場合を例として加振後の裏込土沈下状況を図9に示す。

図7~9より、①置セル、根入れセルの残留変位は振動台加速度 250 gal 前後まで殆んど生じず、 500 gal 前後になるとセル天端残留変位、傾斜角

が大きくなり、裏込土の沈下も大きい。②裏込土のない実験No. 1, 2では 600 gal 位まで加振しても残留変形を殆んど生じず安定しているが、実験No. 3では 500 gal 前後ですでに傾斜角3度位を生じており、裏込土挙動がセルの変形に与える影響は極めて大きいといえる。③図9に示す各加振ごとの裏込土表面の沈下や、き裂の発生状況観察結果は実際の岸壁の地震時被災状況とほぼ同様であった。

次に、セルを剛体と仮定して、各部の計測値より求まる 500 gal 加振後に対応するセルの滑動量、傾斜角を用い根入れ比 h/H と置セルに対する変位量比との関係を示すと図10のようになる。

図10より、根入れ比 h/H が $1/4$ 以上とした場合の根入れセルの滑動量、傾斜角（振動台加速度 500 gal ）は置セルのそれらの $1/2$ 以下となっており、根入れ効果が、とくに、滑動抑制の点で顕著に認められる。

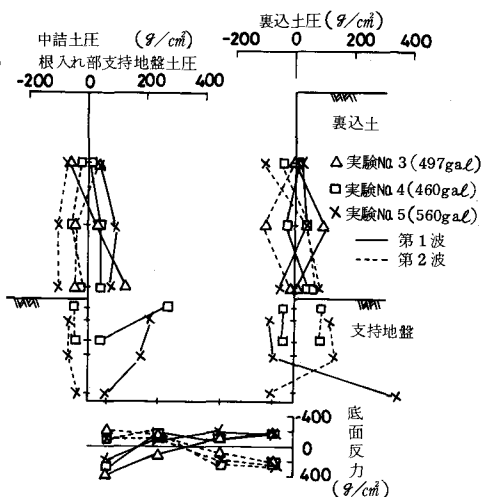


図6 動土圧分布

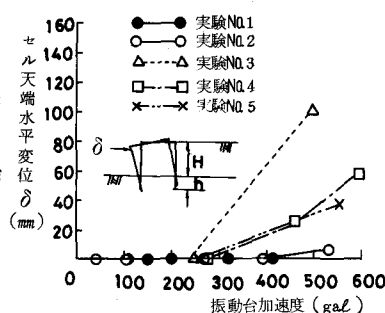


図7 振動台加速度とセル天端水平残留変位

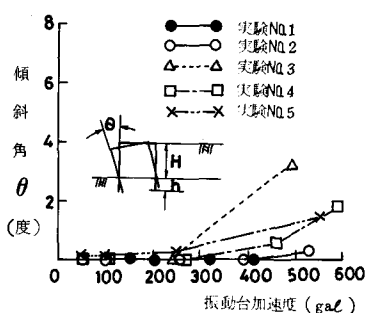


図8 振動台加速度とセル傾斜角

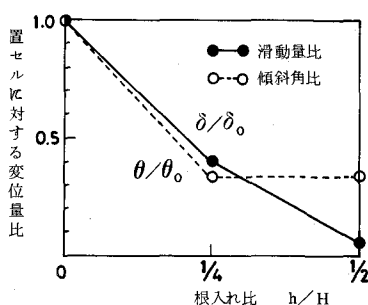
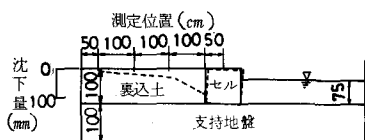
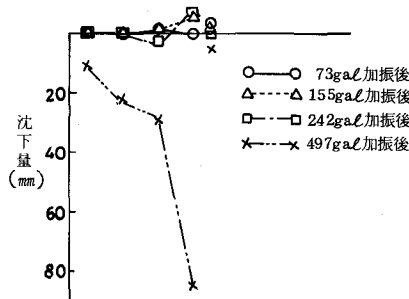


図10 500gal加振後のセルの変形



(a) 497gal加振後の裏込土、セルの変形状態



(b) 中詰土、裏込土の沈下量

図9 セルの破壊状況（実験No. 3）

4. 模型護岸の安定性

実験No.3～5に関して、模型を小さな実物とみなし、表2の単位体積重量、内部摩擦角などを用い、また、振動台加速度を重力加速度で除した値を震度とみなして、現行設計法⁷⁾により護岸の安定性を検討すると、振動台加速度に対する滑動、転倒の安全率は図11,12のようになる。なお、両図には実験で得られている滑動量、傾斜角もあわせ記した。これらの結果、現行設計法で安全率が1に対応する加速度、ならびに、実験において軽度な地震被害が生じた際の加速度を表4に示す。なお、ここで、軽度な地震被害とは過去の護岸被災分析結果⁸⁾などより、セルの天端はらみ出し量がセル高さの5%に達した時とした。

表4より、今回の実験条件の範囲内に限定して考えると、現行設計法での安全率1に対応する加速度は実験結果から求めた加速度よりかなり小さく、根入れセルでは両者の差が著しく大きい。すなわち、現行設計法が非常に安全側にあるといえる。

5. 結 言

大型模型の振動破壊実験を行なった結果、

- (1) 根入れセルは置セルに比して耐震性に優れた構造である。
- (2) 裏込土の動挙動がセルの滑動、転倒などに与える影響は極めて大きく、また、水の存在はない場合に比してセル護岸全体の剛性低下と減衰定数の増大をもたらす。

- (3) 今回の実験範囲に関する限り、振動台加速度を重力加速度で除した震度を用いると、根入れ鋼板セルに対して現行設計法は非常に安全側の結果を与える。
- などが明らかになった。今後、根入れ鋼板セル護岸の安定性の評価手法について検討を継続する予定である。

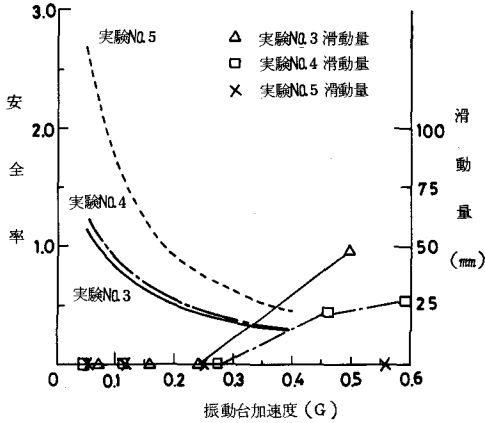


図11 振動台加速度と滑動の安全率

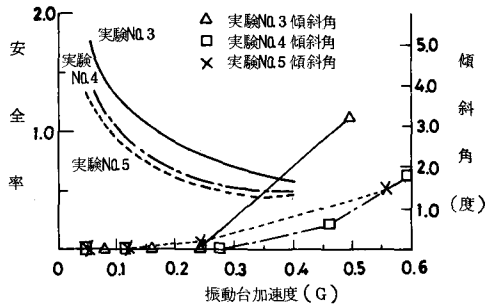


図12 振動台加速度と転倒の安全率

表4 安全率1の時の加速度 (G)

実験No.		3	4	5
設計計算	滑動	0.07	0.08	0.18
	転倒	0.17	0.10	0.09
実験	はらみ出し	0.36	0.56	0.57

参考文献

1) 荻野, 高瀬, 梶岡; 根入れ式鋼板セル施工実験, 土木学会第35回年次学術講演概要集, 第3部, 昭55
2) 飯田, 飯村, 石田; 根入れ鋼板セル打設時挙動の現場計測結果, 土木学会 第36回年次学術講演概要集, 第3部, 昭56
3) 北島, 野田, 中山; 根入れ鋼板セルの静的挙動, 港湾技術研究所資料, 第375, 昭56
4) 飯田, 山川; 鋼板セル護岸の振動性状, 土木学会第35回年次学術講演概要集, 第3部, 昭55
5) 野田, 北沢, 千葉; 改良地盤上の重力式護岸の模型振動実験, 土と基礎, 28-5, 1980
6) 千葉, 野田; 地盤及び土構造物の模型実験のための自由振動台について, 土木学会第34回年次学術講演概要集, 第1部, 昭54
7) 運輸省港湾局監修; 港湾の施設の技術上の基準・同解説, 日本港湾協会, 昭54.
8) 北島, 上部; 矢板岸壁地震時被災の分析, 港湾技術研究所報告, 第18巻, 第1号, 昭54.