

特集 「自然災害にそなえる」

タイ材を用いた岸壁耐震補強工法の遠心模型振動実験による検証

樋口 俊一 伊藤 浩二

Investigation on the Tie-Rod Seismic Reinforcement Method to Existing Quay by Centrifuge Shaking Experiment

Shunichi Higuchi Koji Ito

Abstract

Underground Efficient Tie-rod System (UGETS, hereafter) is a practical construction method for deepening existing sheet-pile type quays during service. Additional ties and support structures are constructed behind existing quays by utilizing a newly developed construction method of drilling boreholes for ties. Additional lateral resistance against seismic force is required. Centrifuge experiments were carried out to investigate the performances of UGETS against seismic action and the dynamic characteristics of a quay reinforced by this method. Two different reinforcement systems are chosen, a horizontal tie system and a slanting tie system. An existing quay (no reinforcement) and a UGETS-reinforced quay were tested simultaneously for each case. The experimental results show that the reinforcement method is very effective by confirming the reduction of the section forces of the reinforced quay structure, as well as reduction of deformations.

概要

UGETS工法（2段タイ材地下施工法：既存岸壁を追加新設タイ材—控え工により補強する工法）は、既存鋼矢板式岸壁を機能拡張するための補強工法であり、岸壁を供用しながら施工可能なところに利点がある。また、既存鋼矢板式岸壁の背後地盤に新たに控え工を設けて支持・補強する構造のため、地震時の動水圧や背後地盤液状化に伴う流動力等に対する水平抵抗力の増加も期待出来る。本論文ではUGETS工法の耐震補強効果について遠心模型振動実験により検討し、その結果についてまとめた。実験では未補強の既存岸壁と本工法による補強岸壁を同時加振し、その結果から補強効果を検証した。その結果、本工法による補強効果として岸壁背後地盤の変形量が減少することや、既設岸壁の部材（鋼矢板・タイ材・控え杭）断面力の低減されること等が確認され、本工法が耐震補強にも有効であることが確認された。また、実験結果の分析から本工法の実務設計上の検討課題を明らかにした。さらに、港湾構造物の実務設計において使われている動的有効応力解析手法により遠心実験をシミュレーションしてその適用性を検証し、実務上十分な精度で本工法により補強した岸壁の地震時挙動が再現できることを確認した。

1. はじめに

わが国港湾施設の国際競争力確保の観点から、荷役機能の高効率化は危急の課題であり、これに伴う大型船舶の接岸とエプロン等に対する載荷重の増大により、岸壁に対する増深化・高規格化のニーズが高まると考えられる。また、地震防災拠点として支援機能確保の重要性の観点から、耐震性強化に対する要求も増加している。

一方、岸壁には輸送基点としての荷役機能に加え、貯蔵設備としての機能があるため、補強・改良等のために長期にわたって休止できない場合が多く、そのため船舶接岸や荷役を阻害することなく、岸壁を供用しながら経済的に改良・補強する工法の実用化が望まれてきた。

UGETS工法 (Fig. 1) は、既存鋼矢板式岸壁の背面から新設タイ材（タイローブまたはタイロッド）を地中掘削（小口径削孔）により既設岸壁に取り付けて補強する工

法で、施工時に岸壁の供用継続性に影響を与えないで増深化、耐震性能強化を可能とする工法である。

そこで、本論文では、UGETS工法の耐震補強効果の有

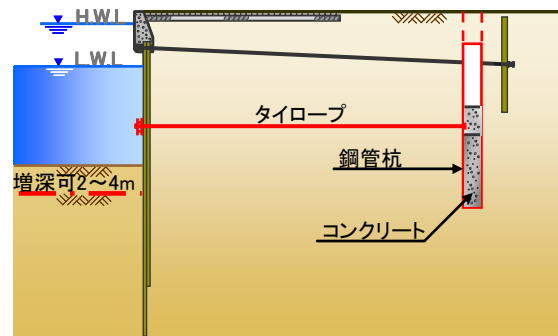


Fig. 1 UGETS工法の概念図
Conceptual layout of UGETS

効性の確認と基礎データの収集目的として実施した遠心模型振動実験（以下「遠心実験」）の結果を報告する。

遠心実験は¹⁾、縮小模型に遠心重力加速度を作用させることにより実地盤と模型地盤の応力状態を再現する実験方法である。これにより、質量・密度や剛性、応力-ひずみ関係について現実に近い条件での模型実験が可能となり、特に地盤と構造物の相互作用や、破壊状態を含む非線形領域での地盤挙動の解明に有効な模型実験手法である。

2. 実験模型

2.1 相似則

遠心実験における相似則をTable 1に示す。これより遠心実験の特長として、実物と同じ材料を用いた場合、長さの縮尺を1/Nとした模型に対して遠心重力加速度NGを作用させると模型の応力が実物と同じとなることが理解できる。すなわち、縮尺1/Nの模型の力学挙動は実

Table 1 遠心実験の相似則
Similarity Rule for Centrifuge Experiment

項目	相似則
長さ (変位)	1/N
加速度	N
密度	1
時間 (振動)	1/N
曲げ剛性	1/N ⁴

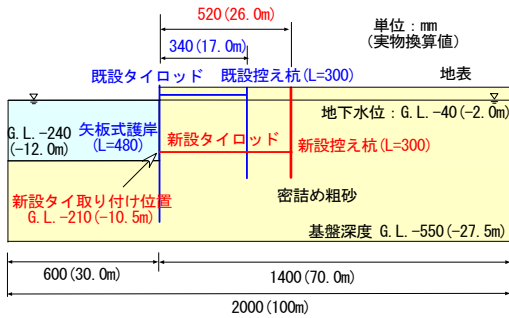


Fig. 2 実験模型概略断面(Case1)-補強断面
Cross Section of Centrifuge Model (Case1)
- Reinforced Section -

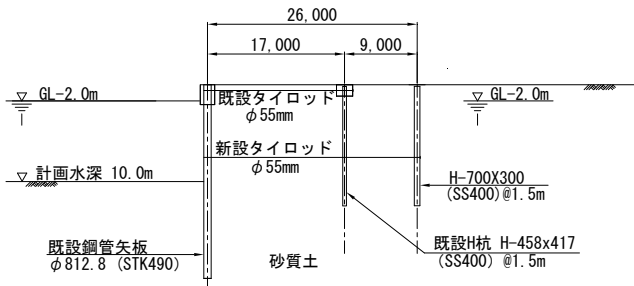


Fig. 4 実構造物断面(補強タイ材水平)-補強断面
Cross Section of Prototype Quay Walls
(Horizontal Tie System)

物と同等に評価できることにある。今回の実験では模型の長さの縮尺を1/50とし、50Gの遠心重力加速度を载荷して実験を実施した。

2.2 実験模型概要

実験に用いた遠心模型の概要を、それぞれFig. 2とFig. 3に示す。模型断面は矢板式岸壁構造物と海側地盤、背後側地盤によって構成される。この実験では、実験目的別に、Table 2に示す2種類の断面を設定した。それぞれの模型は奥行き方向に2分割した実験用剛土槽（長さ2,000mm、幅700mm、深さ650mm；実物換算はそれぞれ100m、35m、32.5m。これ以降は数値を実物換算値で取り扱う。）に模型地盤と岸壁模型を設置した。一方の断面には既設岸壁だけ（現状側）を設置して、もう一方の断面には既設岸壁に補強タイ材および控え工を設置（補強側）して、2つのモデルの比較ができるようにした(Fig. 2およびFig. 3にはそれぞれ補強断面を示した。)

Table 2 遠心実験モデルの概要
Profiles of Model Section for Centrifuge

Case	1	2
岸壁形式	鋼管矢板 直杭式控え工	鋼管矢板 斜杭式控え工
新設工	水平タイ材 直杭控え工	斜めタイ材 直杭控え工
地盤構成	密な砂地盤	砂・粘性土の互層地盤

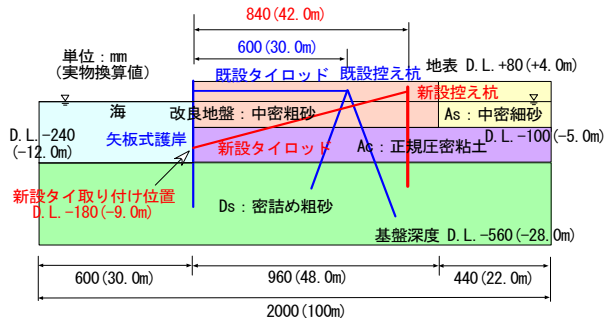


Fig. 3 実験模型概略断面(Case2)-補強断面
Cross Section of Centrifuge Model (Case2)
- Reinforced Section -

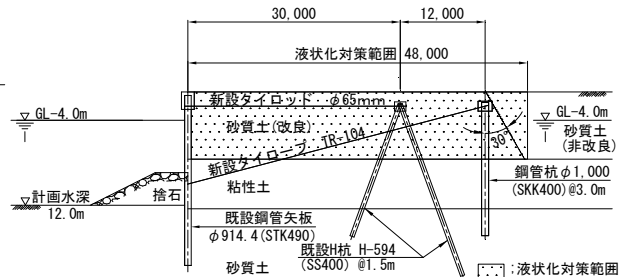


Fig. 5 実構造物断面(補強タイ材斜材)-補強断面
Cross Section of Prototype Quay Walls
(Slanting Tie System)

Table 3 実験模型の概要 (Case1)
Profiles of Quay Model (Case1)

構造物	既設		新設	
	実物	模型	実物	模型
護岸矢板	鋼管矢板 φ812.8, t=10	鋼板 t=6		
控え工	H鋼杭 H-458x 417x30x50 @約1.5m	板杭 8.3x7.6 @30mm	H鋼杭 H-700x 300x13x24 @約1.5m	板杭 8.3x7.6 @30mm
タイ材	タイロッド φ55 @約1.5m	細鉄筋 φ1@30mm	タイロッド φ55 @約1.5m	細鉄筋 φ1@30mm

Table 4 実験模型の概要 (Case2)
Profiles of Quay Model (Case2)

構造物	既設		新設	
	実物	模型	実物	模型
護岸矢板	鋼管矢板 φ914.4, t=18	鋼板 t=8		
控え工	H鋼杭 H-594x 302x14x23 @約1.5m	板杭 前:13x6 後:9x9 @30mm	鋼管杭 φ1,000, t=19 @約3.0m	板杭 32x9 @60mm
タイ材	タイロッド φ65 @約1.5m	細鉄筋 φ1@30mm (φ2@30mm)	タイロープ TR-104 @約3.0m	細鉄筋 φ1@30mm (φ2@30mm)

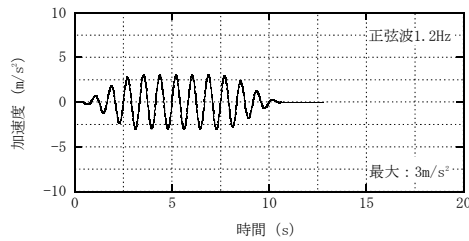


Fig. 6 入力地震波形 (Case1)
Input Earthquake Motion (Case1)

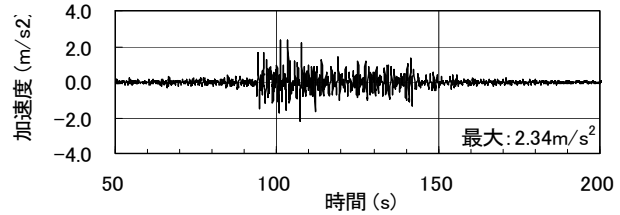


Fig. 7 入力地震波 (Case2)
Input Earthquake Motion (Case2)

2.3 Case1 (補強タイ材水平モデル)

Case1は、直杭式控え工を有する鋼管矢板式岸壁で、新設控え工のタイ材を水平方向に取り付けたモデルである。このモデルは岸壁の水深は実物換算10mで、地盤構成を単一土層（砂質土）とした。地盤構造を単純化したのは、2段タイ材による耐震補強効果と、この構造の基本的な地震時挙動を把握するためである。新設タイ材の設置間隔は既設タイ材と同間隔とし、共に実物換算1.5mとした。構造物模型は鋼材で作製し、鋼管矢板および直杭控え工(H鋼)は曲げ剛性(EI)を等価に、タイ材は軸剛性(EA)を等価になるように断面を決定した。Case1の岸壁模型の概要をTable 3に、実物想定断面をFig.4に示す。

2.4 Case2 (補強タイ材が斜めモデル)

Case2は、斜杭式(組杭式)控え工を有する鋼管矢板式岸壁で、新設控え工のタイ材を斜めに配置したモデルである。このモデルでは現実の構造物において一般的に想定される状況での耐震補強効果を検討した。模型地盤の構成は、深度方向に地盤を埋立て地盤に相当する緩い砂層、海底沖積層に相当する粘性土層および洪積支持層に相当する密な砂層からなる3層構造とした。また、既設岸壁の増深化を想定して、補強前の設計水深を10m、補強後の設計水深が12mとなる場合を仮定して新設控え工を設計した。その結果、新設タイ材の設置深度は水深9m、設置間隔は実物換算3.0mで、既設タイ材の倍のピッチ(同1.5m間隔)となった。岸壁背後埋土部地盤は、鋼管矢板式岸壁から新設控え工部分までの48m(模型960mm)区間は締め固め改良を前提に液状化しない地盤(透水性の良い過剰間隙水圧の蓄積しない砂層)とし、48mよりも

遠方(図中右側)は液状化する地盤(緩い砂層)とした。構造物模型は鋼材で作製し、鋼管矢板および既設組杭控え工(H鋼)押し込み側(前面側)は曲げ剛性(EI)を等価に、組杭控え工引き抜き側(陸側)は杭の引き抜き支持力を着目点として杭の周長の縮尺を等価に、タイ材は軸剛性(EA)が等価になるように断面を決定した。Case2の岸壁模型の概要をTable 4に、実物想定断面をFig.5に示す。

3. 実験方法

3.1 遠心载荷方法

模型に遠心重力を与えるに際し、新設構造物の断面力に関して実構造物と異なる状況が想定された。即ち、実構造物では既設岸壁構造物のみに初期応力が作用し、新設構造物は無応力となるのに対し、遠心模型では遠心重力の载荷に伴い双方に初期応力が発生する。そのためこの実験では以下の手順で模型に遠心载荷した²⁾。

- ① 初めに既設岸壁のみの状態を再現するため、新設タイ材を控え工に定着せず(張力が入らない状態)、一旦所定の遠心重力を作用させて地盤に応力履歴を与える。
- ② 遠心重力を開放し、新設タイ材を定着させる。
- ③ 再度遠心载荷して地盤および構造物に荷重を作用させ、振動実験を実施する。

これは、①の手順により模型地盤や構造物に自重応力による変形が生じるため、新設タイ材定着時の模型の変形状態について実構造物の状況が再現でき、それにより再载荷時に新設構造物に発生する初期応力が低減できると考えたからである。

Case2では、既設岸壁の設計水深が10mであることから、

手順①において10mの状態を再現するため遠心重力を42G (10/12*50) として応力履歴を与えた。

3.2 加振方法

Case1では、新設タイ材による耐震補強効果の基本的な特性を検討するため、振動台入力地震波として正弦波 (1.2Hz, 主要部5波) を用いた。また、入力加速度は最大振幅 $1m/s^2$ (実物換算値) からの段階加振とした。Fig. 6 に一例として最大加速度 $3m/s^2$ の時刻歴を示す。

一方、Case2は現実に近い条件での耐震補強効果を検討することから、入力地震動にはFig. 7に示す人工地震波を用いた。

4. 実験結果

4.1 Case1

実験結果の整理として、Table 5に遠心重力50g到達時点 (以降、これを常時とする。) および代表的な正弦波加振 (最大加速度振幅 $1m/s^2$ 及び $3m/s^2$; 以降0.1g, 0.3g加振と表現する。) でのタイ材の最大引張応力度を、またFig. 8に常時、0.1g加振および0.3g加振における岸壁矢板の最大曲げモーメント (加振時は増分値) の深度分布を示す。

4.1.1 常時断面力 補強断面の既設タイ材応力度 (33MPa) は無補強断面 (63MPa) と比較して半分程度に減少している。また、岸壁矢板の断面力分布にも差異が見られ、最大値 (GL=-6m) は30%程度低減している。一方新設タイ材には既設タイ材と同程度の引張力が発生していることがわかった。

4.1.2 地震時断面力 0.1g加振での補強護岸の既設タイ材の応力度増分 (35MPa) は、常時と同様に無補強断面 (78MPa) の半分程度であった。このときの岸壁矢板の曲げモーメント分布 (Fig. 8(b)) にも差異が見られ、補強断面では無補強断面と比較して地震時最大増分値 (GL=-6m) は40%に、常時+地震時の最大値 (GL=-6m) も

60%程度に低減した。一方、補強断面での新設タイ材の応力度増分 (69MPa) は既設タイ材よりも大きくなった。一方、0.3g加振での補強護岸の既設タイ材の応力度増分 (141MPa) は、無補強断面 (152MPa) とほぼ同等で、断面力の低減効果は小さくなった。これは、0.3g加振での新設タイ材の応力度が331MPa (常時+地震時) で降伏応力度 ($\sigma_y=320MPa$) を超えたため、変形抑制効果が低減したものと考えられる。このときの岸壁矢板の曲げモーメント分布 (Fig. 8(c)) でも同様に断面力の低減効果が小さく、最大値の低減率は25%程度であった。

4.1.3 地震時岸壁変位 Fig. 9に岸壁矢板天端の水平変位と入力加速度の関係を示す。入力加速度の増大と

Table 5 タイ材の断面応力度 (MPa:引張+)
Stress of Tie Member (MPa: Tension +)

断面 部材	補強断面		無補強断面
	既設タイ材	新設タイ材	既設タイ材
常時	33	33	63
地震時増分 (0.1g/0.3g)	35/141	69/298	78/152

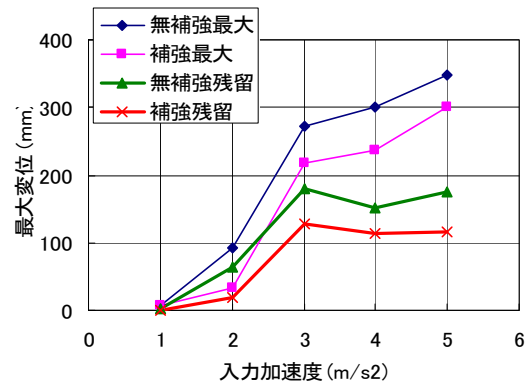
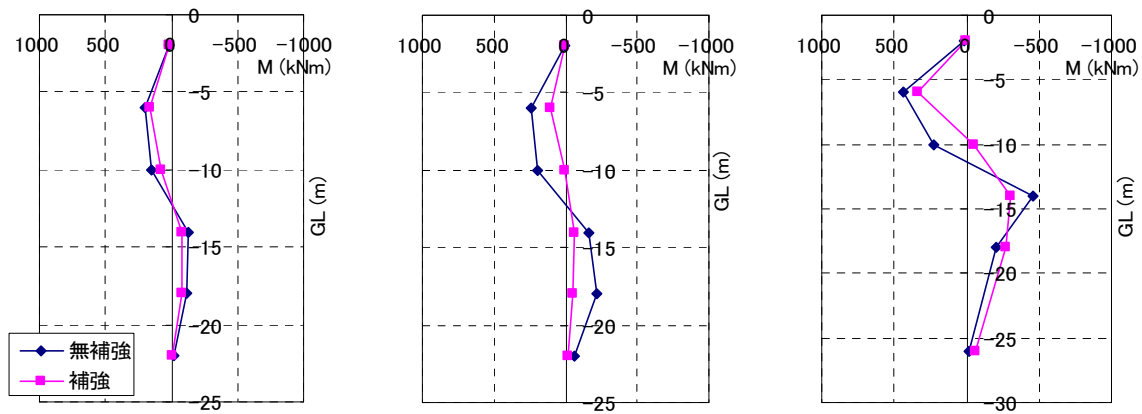


Fig. 9 入力加速度と岸壁天端水平最大変位の関係
Relation between the Maximum Input Acceleration and Horizontal Displacement of the Quay



(a) 常時 (b) 0.1g加振時 (地震時増分) (c) 0.3g加振時 (地震時増分)

Fig. 8 岸壁矢板の最大曲げモーメント分布 (Case1)

Maximum Bending Moment Distribution throughout the Quay Sheet-piles (Case1)

ともに岸壁変位も増大するが、補強断面では変位抑制効果が見られる。0.1g加振では補強断面での最大変位は1/3程度に減少したが、基盤入力加速度が0.3gより大きくなると両者の差は小さくなった、一方、入力加速度0.3g以上では変位の増加割合が減少している。

4.2 Case2

Case1と同様に実験結果の整理として、Table 6に遠心重力50g到達時点および地震時のタイ材の最大引張応力度を、またFig. 10に岸壁矢板の最大曲げモーメントの深度分布を示す。

4.2.1 常時断面力 Table 6, Fig. 10(a)より、既設タイロッドの荷重が大きく減少すること、常時断面力分布は補強の有り無しで大きく変わらないことがわかった。

4.2.2 地震時断面力 Fig. 10(b)に岸壁矢板の地震時曲げモーメント増分を、Table.5にタイ材の地震時軸応力増分を示す。ここで、断面力は選定した時間断面(T=95.0s)での抽出値を示した。一方、地震継続中に各断面力は護岸が海側に移動する方向にドリフトして

いくことから、地震時の断面力最大値は最大加速度出現時刻(T=103.4s)ではなく、T=141.2sに出現する。そのときの断面力分布をFig. 10(c)に示すが、最大曲げモーメントは降伏曲げモーメント M_y のおよそ90%になっている。また、Table 6に示すタイ材の断面応力については、無補強断面側では部材の降伏応力度 $\sigma_y=320\text{MPa}$ を越えた。Fig. 10(d)は地震入力終了した時点での岸壁矢板の断面力分布(常時+残留増分)である。岸壁矢板の曲げモーメント最大値は補強断面のほうが無補強断面よりも10%

Table 6 タイ材の最大断面応力度(MPa:引張+) Maximum Stress of Tie Member (MPa: Tension +)

断面	補強断面		無補強断面
	既設タイ材	新設タイ材	既設タイ材
常時	159	45	209
地震時増分 (T=95s)	83	25	78
地震時最大 (T=141.2s)	308	63	372
地震後残留増分	45	-4	61

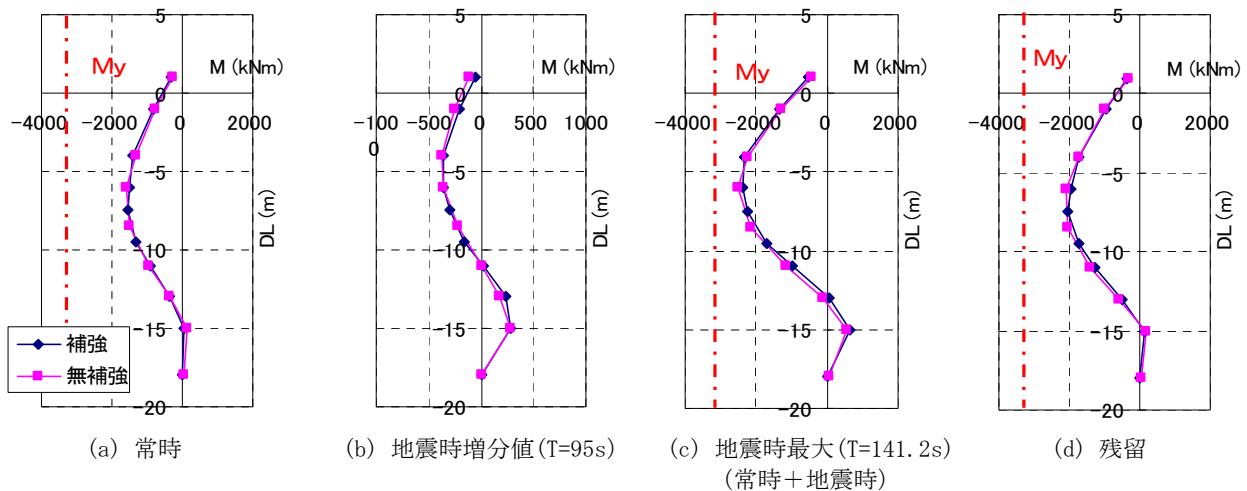


Fig. 10 岸壁矢板の最大曲げモーメント分布(Case2)

Maximum Bending Moment Distribution throughout the Quay Sheet-piles (Case2)

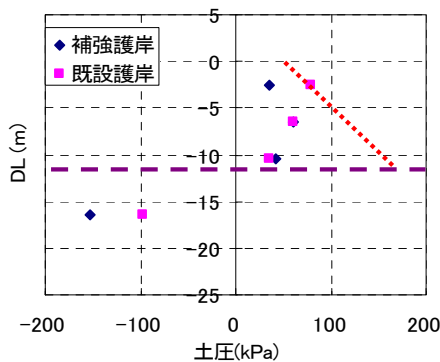


Fig. 11 岸壁に作用する地震時土圧の最大値分布 Maximum Dynamic Earth Pressure on the Quay due to the Seismic Event

Table 7 岸壁頂部の水平変位(海側+) Displacement of the Quay top (Seaward +)

断面	補強断面	無補強断面
地震時最大値	208.3	224.7
残留値	159.5	172.0

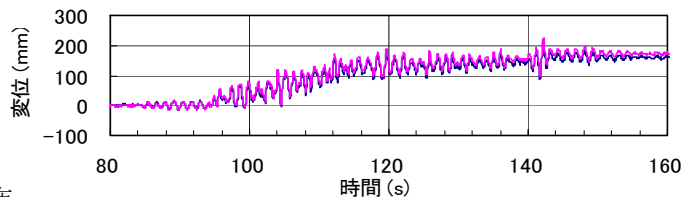


Fig. 12 岸壁頂部の水平変位時刻歴 Time History of the Quay top

程度低減しているとともに、タイ材の残留断面力増分 (Table 6) についても無補強断面に比べて20%程度低減した。

4.2.3 地震時土圧分布 Fig. 11に岸壁背後に設置した土圧計による地震時土圧の最大値分布を示す。図中に示した赤点線は、震度法による設計で想定された、地震時動水圧+地震時動土圧分布である。実験での地中部での土圧は深度方向に漸減しており、実際に岸壁に作用する地震時土圧は設計の想定と異なることがわかった。

4.2.4 地震時岸壁変位 Table 7に岸壁矢板上部水平変位を、Fig. 12にその時刻歴を示す。振動変位振幅、最大変位、残留変位ともに補強岸壁のほうが無補強岸壁よりも小さくなり、補強効果が見られた。

4.3 考察

以上に整理した実験結果から、2段タイ材の効果と特徴を考察する。

Table 8に各ケースでの既設タイ材と新設タイ材の荷重分担を整理した。これより新設タイ材の荷重分担は、新設タイ材の取り付け角度が水平のほうが斜めの場合よりも、常時、地震時ともに大きいことがわかる。これは、Case1では新設タイ材が地盤の深い位置に水平方向に設置されているため控え工と岸壁の相対変位が大きく拘束効果が大きいのにに対し、斜めタイ材の場合 (Case2) には控え工上部 (地表面付近) にタイ材定着部があるため控え工がたわみやすく、控え工と岸壁の相対変位が小さくなることによると考えられる。また、上記以外にも新設タイ材の荷重分担に影響を与える要因として以下が挙げられる。

① Case1と比較してCase2の地盤が軟弱で、控え工のたわ

みも大きくなりやすい。また、控え工に対する地震時の地盤変位の影響も大きい。

② Case2では既設控え工が斜杭、新設控え工が直杭で、既設控え工のほうが変形しにくい構造であった。

一方、Fig. 8及びFig. 10に整理した岸壁矢板の曲げモーメント分布より、Case1, Case2ともに新設タイ材の取り付け高さが最大曲げモーメント発生位置よりも海底面側にあることがわかる。したがって、新設タイ材の取り付け位置を適切に設定することで新設タイ材の荷重分担を増やし、既設構造物の断面力を低減する余地がある。

以上の考察から、新設タイ材の荷重分担は取り付け角度や長さ、位置、既設・新設控え工の形式、地盤条件に依存すると考えられるため、実務展開に際しては数値解析によるパラスタなどを介してより適切な設計条件を検討する必要がある。

5. 数値シミュレーション

遠心実験結果について、動的有効応力解析によるシミュレーションを実施した。これは、港湾構造物の実務設計において動的応答解析による照査が一般化していること、実務展開上新しい構造形式であるUGETS工法への適用性の検証が必要と考えられたからである。なお、解析には港湾構造物の動的応答解析で標準的に用いられる有効応力解析プログラムFLIP³を用いた。

5.1 解析モデル

解析対象にはCase2の断面 (Fig. 3) を選定した。実験では新設タイ材の有無を比較したので、ここでは両方の断面についてシミュレーションを実施した。また、シミュ

Table 8 新設タイ材の荷重分担
Force Distribution on Reinforced Tie Member

Case	1	2
常時	1	0.17
地震時増分	2 (0.1g) 2 (0.3g)	0.10

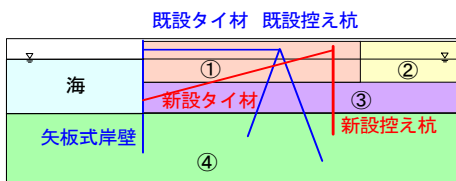
*既設タイ材を1とした

Table 9 数値解析モデル概要
Summary of the Numerical Model

構造物	既設岸壁		新設工	
	模型	解析	模型	解析
岸壁矢板	板材 t=8mm	非線形梁要素		
控え工	板杭 @ 30mm 前: 13x6 後: 9x9	非線形梁要素	板杭 B=32, t=9 @ 60mm	非線形梁要素
タイ材	細鉄筋 φ1 @ 30mm	線形ばね要素	細鉄筋 φ1 @ 60mm	線形ばね要素

Table 10 解析用地盤材料定数
Material Properties for the Soil

凡例	部位	Vs (m/s)	φ	C (kN/m ²)	γ (kN/m ³)	備考
①	護岸背後地盤改良部	200	40		14.0+ 19.0	+ : 地下水位上
②	護岸背後一般部	150	30		14.0+ 19.0	液状化考慮
③	沖積粘土層	200	32	30	20.0	σv' =100kN/m ²
④	洪積砂層	250	45	*	20.0	*若干の粘着力を考慮



レーションは模型スケールで実施した。

解析モデルは2次元断面とし、構造物断面の剛性などは奥行き1mあたりで評価した。

Table 9にモデル各部材のモデル化に関する概要を、Table 10に解析で使用した地盤材料定数を示す。

5.2 入力地震動

解析に用いた入力地震動は、実験時に振動台上で計測した時刻歴波形を用いた。なお、振動台実験での底部入力条件は剛基盤となるため、解析モデルも剛基盤モデルとし、観測波 (E+F) を入力している。

5.3 解析結果

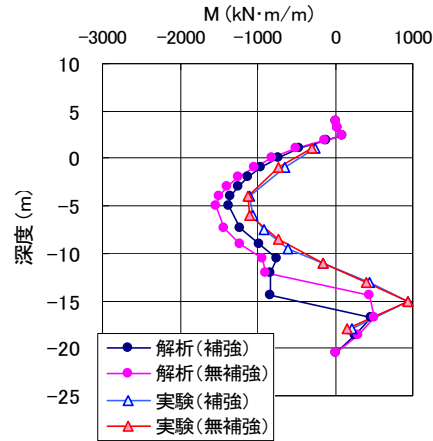
5.3.1 岸壁矢板の曲げモーメント Fig. 13(a)に地震時の岸壁矢板の最大曲げモーメント増分の深度分布を実験結果と比較した。ここで、実験での分布は断面での最大値が現れた時間断面での値を示しているが、解析での曲げモーメント分布は時刻に関係なく最大値を表示している。なお、解析値でもほぼ同時刻で最大となっているが、根入れ部 (-12.0m以深) で時間が異なる。

解析による曲げモーメント値 (●) は実験値 (△) よりも20%~30%大きい、深度分布の形状は実験を良くシミュレートしている。実験では無補強断面と補強断面との差はほとんど見られなかったが、解析では補強側の最大値が10%程度小さい。

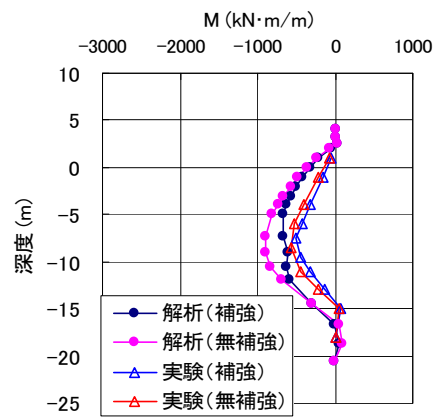
Fig. 13(b)は岸壁矢板の地震後残留ひずみを示す。実験値 (△) と比較して解析値 (●) は2倍近い値を示している。

5.3.2 タイ材の軸応力 Fig. 14(a)~(c)に実験及び解析による既設タイ材と新設タイ材の応力時刻歴を重ね書きして示す。ここで、実験での応力時刻歴 (ピンク) は計測したタイ材応力の時刻歴を足し合わせて本数で割ったものである。いずれの部材でも、解析値が実験値を上回っている。しかしながら時刻歴の振幅に着目すると、既設タイ材の応力増分振幅は実験値と解析値に大きな差はない。即ち、実験値と解析値の差は徐々に残留していくドリフト成分に起因していると考えられる。新設タイ材についても実験値と解析値の差異はドリフト分によるところが大きく、地震入力による動的振幅は両者に大差はない。また、既設タイ材、新設タイ材ともに振動時の位相の一致度も良好である。

5.3.3 岸壁の変位応答 Fig. 15に実験及び解析による岸壁矢板天端変位の時刻歴を重ね書きして示す。実験では岸壁矢板天端の残留変位には新設タイ材による抑制効果が見られたが、解析値では差がほとんど無い。一方、解析による残留変位は実験値よりも小さくなったが、時刻歴より振動変位振幅は両者ともほぼ同等であることから、変位差の要因は主に残留変位に起因していると考えられる。その理由は、モデルの初期応力状態や岸壁全体の変形モードの再現性に起因すると考えられる。

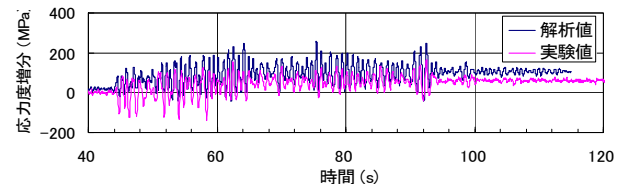


(a) 地震時最大増分

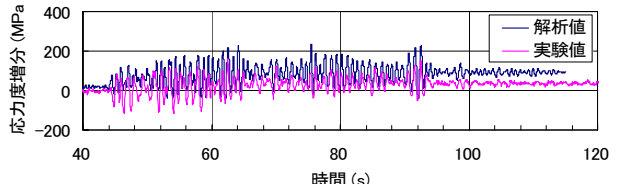


(b) 残留増分

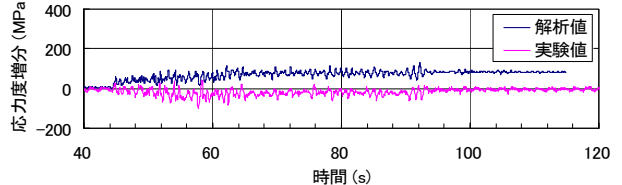
Fig. 13 岸壁矢板の最大曲げモーメント分布
Bending Moment Distribution throughout the Quay Sheet-piles (Tested and Simulated)



(a) 既設タイ材 (無補強断面)



(b) 既設タイ材 (補強断面)



(c) 新設タイ材 (補強断面)

Fig. 14 タイ材の軸応力増分時刻歴の比較
Time Histories of the Axial Stress Increment of Tie Members (Calculated and Tested)

6. まとめ

- 1) 遠心実験結果より、矢板式岸壁を2段タイ材により補強すると、既設タイ材の軸力の一部を新設タイ材に負担させることができる。その結果、既設構造物の荷重分担率に変化が生じることがわかった。
- 2) 1)により補強断面では構造全体系安定度を向上させることができることから、2段タイ材の耐震補強効果が確認できた。
- 3) 遠心実験結果より、2段タイ材の耐震補強効果は入力地震動の大きさにより影響を受ける。入力地震動が大きくなると既設部材に対する荷重低減効果や岸壁の変位抑制効果は小さくなる。
- 4) 補強タイ材を斜めに配置した実験では、水平の場合に比べて補強タイ材が大きな軸力を分担できず、岸壁矢板の断面力低減効果が小さかった。これは、補強タイ材の新設控え工への取り付け位置と、新設控え工のたわみの影響であると考えられる。
- 5) 新設タイ材の荷重分担率は取り付け角度や長さ、位置、新設・既設控え工の形式、地盤条件等に依存すると考えられるため、実務展開に際しては数値解析によるパラスタなどを介してより適切な設計条件を検討する必要がある。
- 6) 遠心模型実験について有効応力解析プログラムFLIPを用いた動的シミュレーションを実施し、岸壁矢板の最大曲げモーメントの地震時増分深度方向分布を良く再現できることを確認した。また、タイ材の軸応力については、時刻歴での振動振幅や位相についても良くシミュレートできた。以上より、FLIPのUGETS工法への適用性が検証できた。

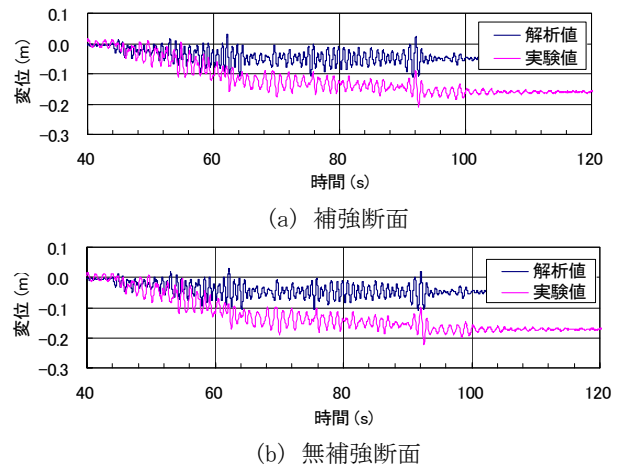


Fig. 15 岸壁頂部の水平変位時刻歴
Time Histories of the Lateral Displacement
of the Quay Top

参考文献

- 1) 大林組遠心模型実験グループ：遠心模型実験装置の活用事例，大林組技術研究所報，No. 66，pp. 121-pp. 124，(2003)
- 2) 塩崎禎朗，菅野高弘，小濱英司：矢板式係船岸の耐震性に関する実験および解析，海洋開発論文集，第20巻，pp. 131-136，(2004)
- 3) 井合進，龍田昌毅，小堤治，溜幸生，山本裕司：地盤の初期応力条件が矢板式岸壁の地震時挙動に与える影響の解析的検討，第26回地震工学研究発表会講演論文集，pp. 809-812，(2001)