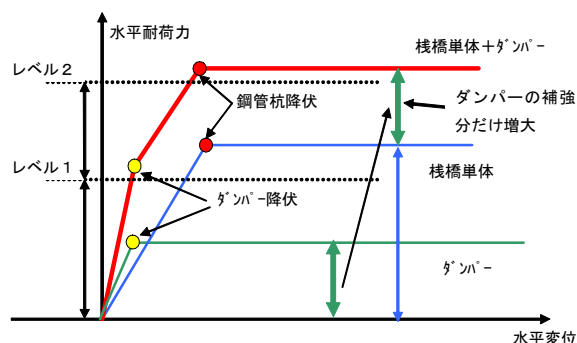
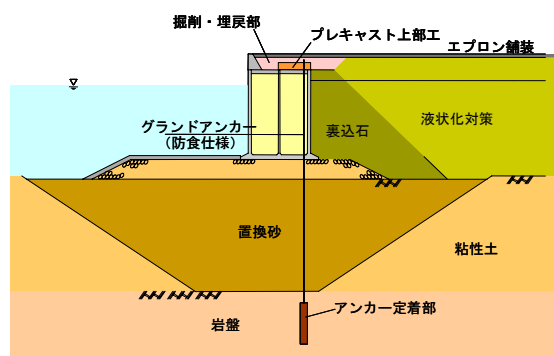


ケーソン式岸壁及び杭式栈橋の耐震強化工法の開発

竹内 秀聡・米田 大樹・伊藤 始・原 夏生・舟橋 政司・山之口 寛^{*1}

THE DEVELOPMENT OF THE ANTISEISMIC REINFORCEMENT TECHNIQUE FOR THE CAISSON BERTHS AND THE PILE-SUPPORTED PIERS

Hideaki TAKEUCHI, Taiju YONEDA, Hajime ITOH, Natsuo HARA, Masashi FUNAHASHI, Hiroshi YAMANOKUCHI



研究の目的

船舶の係留施設は、大規模な地震後の人員および緊急物資の運搬において重要な役割を担っている。その為、既存の岸壁を今後発生が予想される地震に耐えうように補強することは、被災後の速やかな社会機能の回復にとって極めて重要である。しかし、既存の工法による岸壁整備は工事費が高いため、整備計画が遅れている現状があり、安価に耐震岸壁を整備する新たな技術の確立が望まれている。そこで、本研究ではこのような需要に応えるべく、ケーソン式岸壁に対してはグラウンドアンカー工法を、杭式岸壁に対してはダンパー・フレーム工法を提案する。

技術の説明

- 1) グラウンドアンカー工法：ケーソン式岸壁に適用する。グラウンドアンカーを用い、鉛直方向にプレストレスを導入して、地盤反力分布を制御する工法であり、工期短縮、工事エリアの縮小、供用時でも必要に応じて緊張力を維持管理できるなどの長所がある。
- 2) ダンパー・フレーム工法：杭式岸壁に適用する。柱等にダンパーの機能をもつフレームを取付け、耐震補強を図る工法である。レベル2地震動のような大規模地震に対してもダンパーに地震エネルギーを吸収させる事で地盤中の栈橋本体には損傷を与えずダンパーの交換のみで供用可能となる。従って、復旧時に航路法線を変更する事がなく、持続的な供用が可能である。ダンパーは普通鋼材を用いる為、安価で製造が可能である。

主な結論

①グラウンドアンカー工法

ケーソン式岸壁の補強はグラウンドアンカー工法が工費、工期ともに事前混合処理工法より有効である。但し、背面土の液状化が顕著な場合には併用ケースが安価となる。

②ダンパー・フレーム工法

栈橋の模擬実験から、本工法で補強された栈橋の水平耐力は補強前の値にダンパーのせん断抵抗分をそのまま重ね合わせた値になることを確認した。また、解析からは、格点式ストラット工法で杭本体に降伏を生じさせる地震荷重に対して、本工法で適切なダンパーの降伏荷重を選択すれば、最大応答変位、最大応答加速度を抑制することができ、杭本体の降伏を回避できることがわかった。

^{*} 1 本店 土木技術部

ケーソン式岸壁及び杭式栈橋の耐震強化工法の開発

竹内 秀聡

米田 大樹

伊藤 始

原 夏生

舟橋 政司

山之口 寛^{*1}

要 旨

国土交通省は2010年までに全国336の耐震強化岸壁を整備する方針であり、既存岸壁の耐震補強に対する需要が高い。耐震強化岸壁は、阪神大震災規模の直下型地震に耐えられる構造であるが、通常の岸壁に比べ、40%以上のコスト増になるため、2002年度末で140バースの整備に留まっている。そこで、本報では既存工法に比べ、コスト縮減が可能な耐震補強工法を実現すべく、次の2工法を提案した。

- 1) グランドアンカー工法：ケーソン式岸壁に適用する。グランドアンカーを用い、鉛直方向にプレストレスを導入して、地盤反力分布を制御する工法であり、工期短縮、工事エリアの縮小、供用時でも必要に応じて緊張力を維持管理できるなどの長所がある。
- 2) ダンパー・フレーム工法：杭式栈橋に適用する。柱などにダンパーの機能をもつフレームを取付け、耐震補強を図る工法である。フレーム形式で現場作業が合理化されること、ダンパーが安価な普通鋼材であることなどの利点を有する。杭式栈橋の模擬実験と解析を実施し、その有効性を提示した。

キーワード 耐震補強／耐震強化岸壁／ケーソン式岸壁／杭式栈橋

目 次

- | | |
|---------------------------|------------------------|
| 1. はじめに | 3. 杭式栈橋への補強工法の適用に関する検討 |
| 2. ケーソン式岸壁への補強工法の適用に関する検討 | 4. まとめ |

THE DEVELOPMENT OF ANTISEISMIC REINFORCEMENT TECHNIQUE FOR CAISSON BERTHS AND PILE-SUPPORTED PIERS

Hideaki TAKEUCHI
Hajime ITOH
Masashi FUNAHASHI

Taiju YONEDA
Natsuo HARA
Hiroshi YAMANOKUCHI

Synopsis:

336 public berths are schemed to be antiseismic reinforced until 2010 by Ministry of Land, Infrastructure and Transport. Therefore, the demand for the antiseismic reinforcement of public berths has been increased. Although earthquake-proof berths are safe against the epicentral earthquake equal to Kobe earthquake, they cost 40% higher than normal berths. Then, Authors propose two technique which cost less than the existing technique.

- 1) for caisson berths: Ground anchors method is the technique to control the distribution of the subgrade reaction by the vertical prestressing with ground anchors. In this paper, first our design and construction technique are reported, and secondly, the construction period and the cost are compared with existing construction method.
- 2) for pile-supported piers: Damper-frame method is the technique of the antiseismic reinforcement for pile-supported piers. Damper-frame method is economical with ordinary steel used and is rationalized with the damper-frame prefabricated. The effectivity of this technique is verified through the experiments and analysis.

* 1 本店 土木技術部

1. はじめに

耐震強化岸壁とは、大規模な地震が発生した場合に、被災直後の緊急物資及び避難者の海上輸送を確保するために、通常の岸壁より耐震性を強化した岸壁である。

耐震強化岸壁は阪神大震災規模の直下型地震に耐えられる構造となっているが、工事費が高いため、整備計画が遅れているのが現状である。安価に耐震岸壁を整備する新たな技術の確立が望まれている。

そこで、本研究ではこのような需要に応えるべく、ケーソン式岸壁に対してはグラウンドアンカー工法を、杭式栈橋に対してはダンパー・フレーム工法を提案する。

2. ケーソン式岸壁への補強工法の適用に関する検討

2.1 概要

港湾には係船や波浪抑制を目的に、ケーソンを用いた岸壁や防波堤が設けられる。このケーソンとは、鉄筋コンクリート製の函体であり、中詰め砂を投入することで海底に沈設し、自重により波力や土圧に抵抗する構造物である。そのため、ケーソンには、転倒や滑動に対する高い安定性が求められ、特に岸壁に用いられる場合、地震に作用する背面土圧に対して、高い抵抗性がなければならない。

ケーソン式岸壁の安定性は、ケーソンの幅や自重を大きくすることや背面土圧の低減により高めることができる。そのため、ケーソン式岸壁の耐震補強には、鋼管矢板や鋼管杭を増設する方法、背面土を固化または軽量化する方法などが提案されてきた。しかしながら、鋼管矢板などを増設する方法では、航路法線の変更をとめない、背面土を固化などする方法では、後背地の建築物などの移設をとまなうことが適用への問題となる。

そこで、本研究では、航路法線の変更や後背地への影響がない、グラウンドアンカーを用いた耐震補強工法（グラウンドアンカー工法、図-1）を提案した。本章は、工法の特徴と施工方法、他工法との比較に関する検討結果について報告する。

2.2 提案工法の特徴と施工方法

グラウンドアンカー工法とは、図-1 に示すように、既設ケーソン天端から中詰室内を通り、底版を貫通させてアンカーを施工して、鉛直下向きにアンカーによる張力を導入する工法である。適切なバランスで緊張力を導入することにより、ケーソンに作用する地震時の地盤反力分布を均等化させ、地盤の安定性を向上させることが可能となる。また、地盤反力の増加によって、ケーソンの滑動抵抗力を増加させることが可能となる。

アンカー材料は、タイ材として港湾構造物において使用実績の多いタイプルアンカー（防食仕様）を用いる。本工法では、供用時にアンカーの張力の再緊張が可能な

構造とした（図-2）。アンカー張力の継続的な計測管理を実施することにより地震発生後など、必要に応じて再緊張などの維持管理が可能となる。

図-3 のスリットケーソン式岸壁の施工手順（例）にしたがい施工方法を示す。

① 背面部上部コンクリート一部切断・撤去

エプロン舗装版を破碎・撤去し、既設ケーソンに施工されていた上部コンクリートをブレーカーなどで撤去する工程である。

② プレキャスト上部工設置

アンカーの緊張力をケーソンに作用させるためのプレキャスト版を設置する工程である。この工程では、反力ブロックとして、①の上部コンクリートを残し、その上にコンクリートを打ち増す方法も考えられる。

③ アンカーケーブル挿入

掘削機でケーソン底版、地盤、および岩盤にアンカーを削孔し、アンカーケーブルを挿入する。その後、グラウトを注入し、アンカーを緊張し、定着する工程である。

④ 中詰めコンクリート打設

地盤反力の変化に対応した底版の補強の工程であり、既設ケーソンの構造により要否を判定する必要がある。

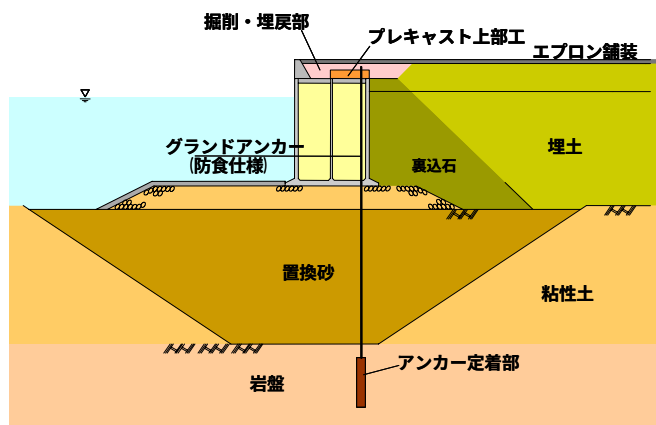


図-1 グラウンドアンカー工法の概要

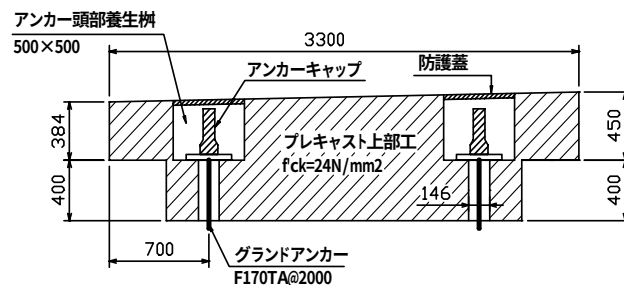
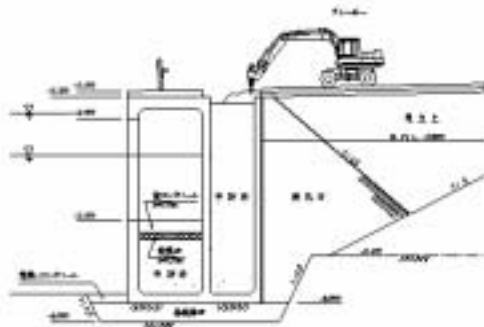
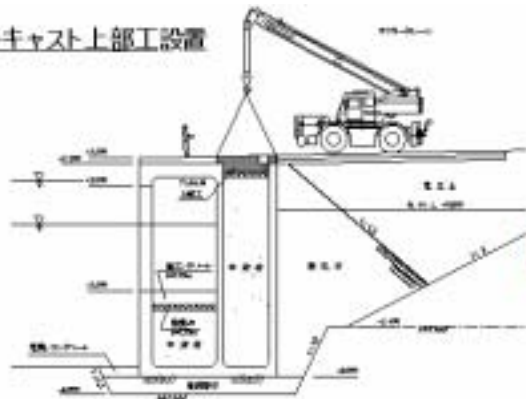


図-2 プレキャスト上部工

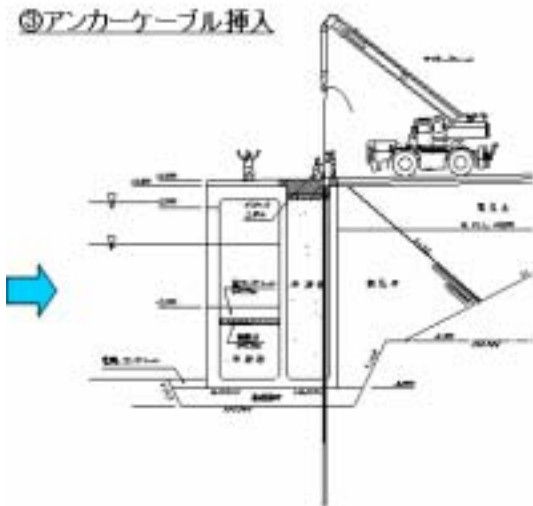
①背面部上部コンクリート一部切断・撤去



②プレキャスト上部工設置



③アンカーケーブル挿入



④中詰めコンクリート打設

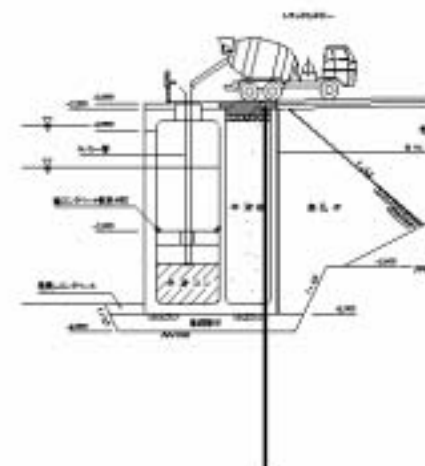


図-3 スリットケーソン式岸壁の施工手順（例）

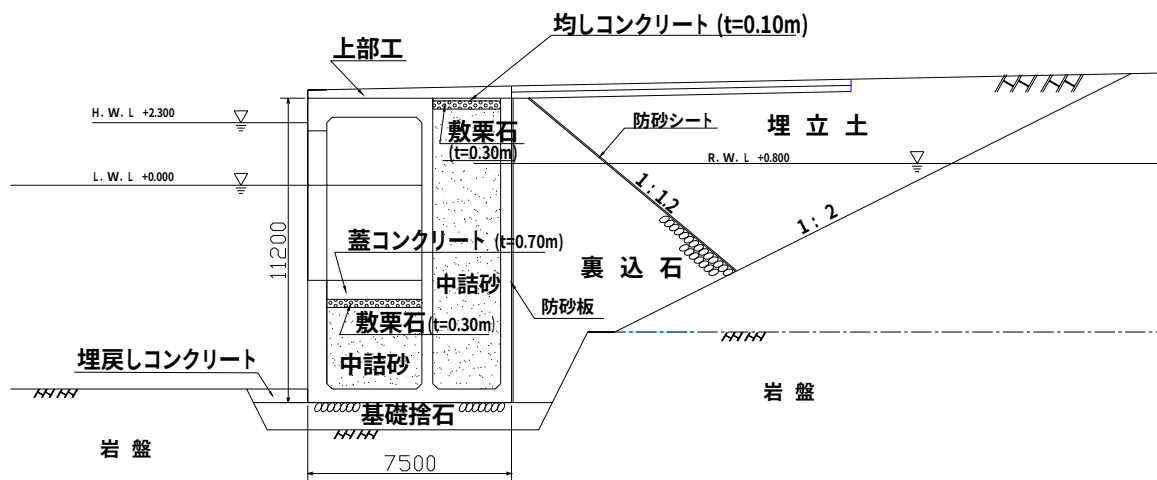


図-4 試算条件

2.3 既存工法との工期・工費の比較

グラウンドアンカー工法の有効性を示すために、既存の工法である事前混合処理工法とグラウンドアンカー工法、さらに事前混合処理工法とグラウンドアンカー工法を併用した場合の比較を工期と工事費について行った。

試算は、基盤層の直上に沈設された高さ 11.2m、幅

7.5m、長さ 16.5m のスリットケーソン式岸壁で、設計震度を 0.10 から 0.28 に変更する条件を想定して行った。試算条件の概要を図-4 に、事前混合処理工法、グラウンドアンカー工法、併用する工法のそれぞれの施工概要を順に図-5、図-6、図-7、に示す。また、試算結果を図-

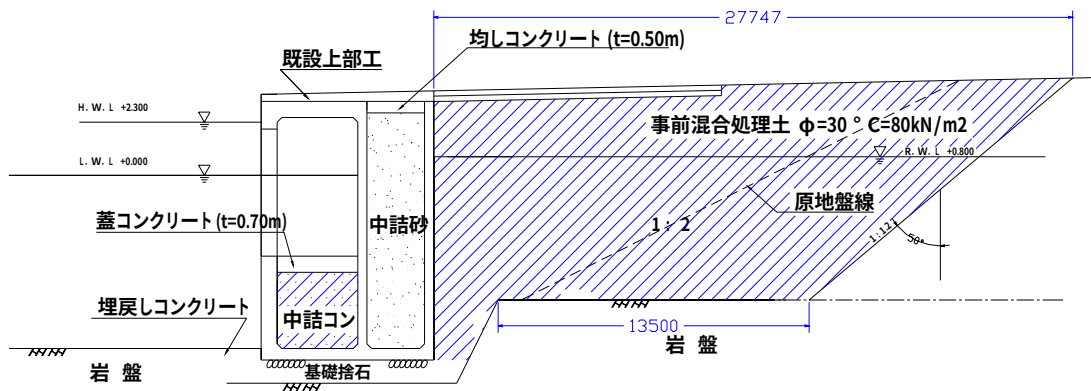


図-5 事前混合処理工法の施工概要

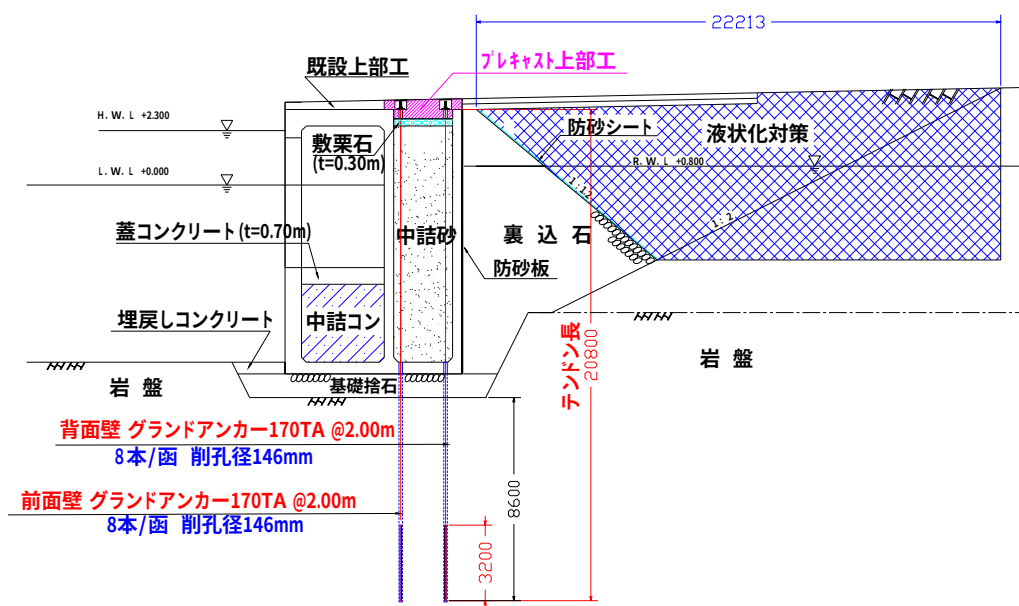


図-6 グラウンドアンカー工法の施工概要

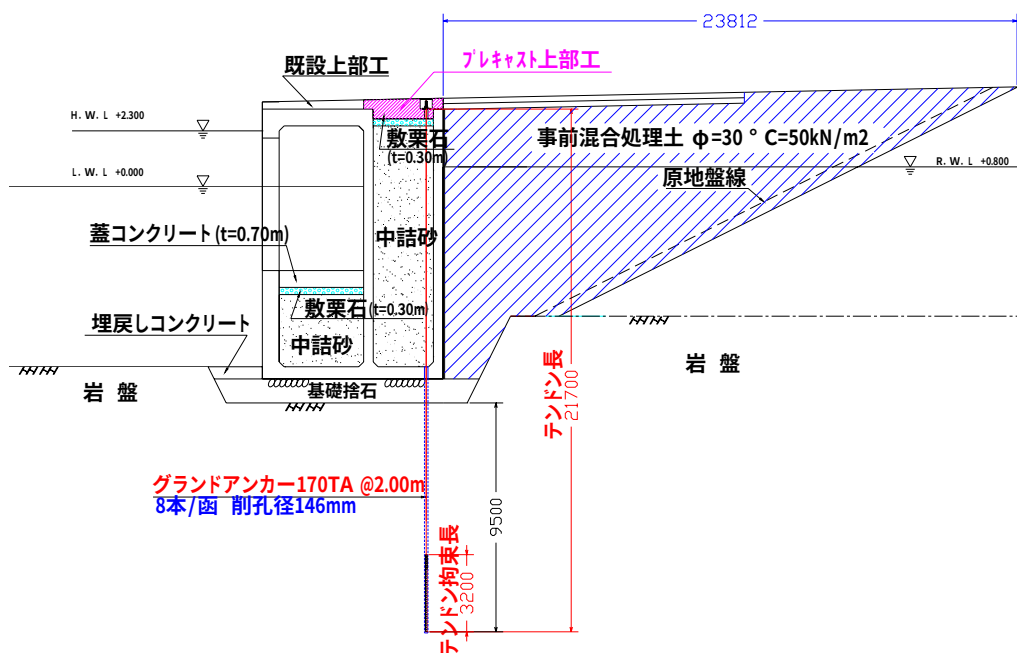


図-7 併用する工法の施工概要

8と図-9に示す。ただし、図-8はクリティカルパスをとっている。

アンカーを断面内に2本配置し、背面土に液状化対策を施したグラウンドアンカー工法では、工期が事前混合処理工法の95%となり、岸壁1函あたりの直接工事費が事前混合処理工法の62%となった。また、アンカーを断面内に1本配置し、事前混合処理の範囲を小さくした併用する工法では、工期が事前混合処理工法の75%となり、岸壁1函あたりの直接工事費が事前混合処理工法の73%となった。グラウンドアンカー工法で工程の大半を占めていたアンカー削工・打設工が、併用する場合に全く工程がかかっていないように見える理由は他作業と同時並行で施工が可能だからである。

工期および工事費の削減に加えて、グラウンドアンカー工法は、施工範囲がケーソン堤体幅程度と狭く、事前混合処理工法に比べ、工事エリアを小さくできることから、岸壁を供用しながらの施工が可能となる。

今回の試算条件では、グラウンドアンカー工法の工費が最も安価となったが、基盤層までの距離により削孔長が長くなる場合や設計震度的大幅な変更が必要で削孔径が大きくなる場合、背面土の液状化が顕著な場合には併用する工法が安価となる。そのため、現場条件により併用工法の検討を行い、事前混合処理の範囲を適切に設定することが有効である。

3. 杭式栈橋への補強工法の適用に関する検討

3.1 概要

杭式栈橋は、海底地盤中に打設された複数の鋼管杭とこれらに支持されたコンクリート上部工よりなる複合構造物である。一般的に、栈橋は変形性能に優れ、レベル2地震動のような大規模地震に対しても保有耐力は大きいとされている。しかし、「港湾施設の技術上の基準・同解説」¹⁾によると、大規模地震に対して、地盤や栈橋が塑性域において挙動することが支配的になるので、仮想固定点法での設計では危険側になる恐れがあると指摘されている。

既存の補強工法としては、増し杭工法、格点式ストラット工法が挙げられる。（格点式ストラット工法は新設を対象として提案される工法であるが、ここでは補強に適用した場合を想定してとりあげる。）増し杭工法は杭を増設することで耐震補強を図る工法であるが、補強時にコンクリート上部工を撤去するため供用を継続することができない。一方、格点式ストラット工法は上部工を撤去することなく、補修時も供用可能である。しかし、後述の解析（3.4(2)）で示すように、地震荷重など動的な荷重が作用する場合は、栈橋の杭本体を降伏させてしまうことがある。

そこで、本研究ではせん断抵抗型ダンパーを組み込んだダンパー・フレーム工法を提案した。本章は、実験

と解析で確認された効果について報告する。

3.2 提案工法の概要と施工方法

ダンパー・フレーム工法は既設の杭式栈橋にせん断抵抗型ダンパーを組み込んだブレースを剛結することで耐震補強を図る工法である。

せん断抵抗型ダンパー（以下、ダンパー）とは、鋼板の面内せん断変形による塑性化によって地震入力エネルギーを吸収し、構造本体部材の損傷を低減するものである。なお、ダンパーは低降伏点鋼材を用いず、普通鋼材を用いること、小さな部材寸法で性能を発揮することから、安価で製造が可能である。主に高層建築物で地震応答を低減することを目的に用いられ、既に実績のある技術である²⁾。

本工法の補強概念を図-10に基づいて示す。本工法で補強された栈橋の水平耐荷力は補強前の値（青）にダンパーのせん断抵抗分（緑）をそのまま重ね合わせた値（赤）になることを示している。また、同図に示すように、本工法によって補強された栈橋はレベル1地震に対して、剛性向上により栈橋本体を含めた全部材が弾性範囲にあり、無補修で供用可能となる。レベル2地震に対してはダンパーに地震エネルギーを吸収させることによって地盤中の鋼管杭など栈橋本体には損傷を与えずダンパ

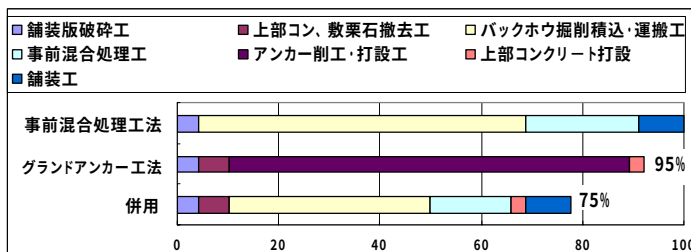


図-8 工期に関する工法比較

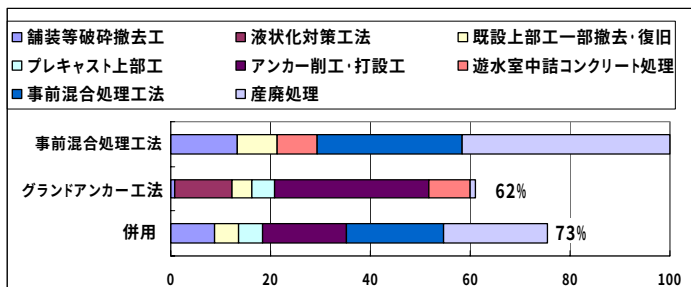


図-9 工事費に関する工法比較

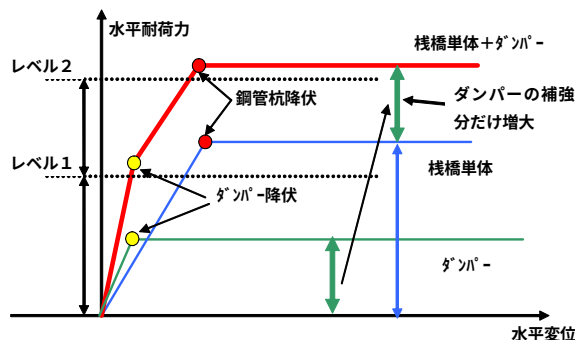


図-10 ダンパー・フレーム工法の補強概念図

ーの交換のみで供用可能となる。したがって、復旧時に航路法線を変更する必要がなく、供用が継続可能である。なお、本工法は、新設の杭式栈橋に対しても適用可能な工法として開発を進めている。

図-11 に従い、本工法の施工手順を示す。

- ① 工場でダンパーをブレースに組み込み、補強ユニット（図-12）を生産する。
- ② クレーンやウィンチで補強ユニットを引き入れる。
- ③ 接合部を施工する。

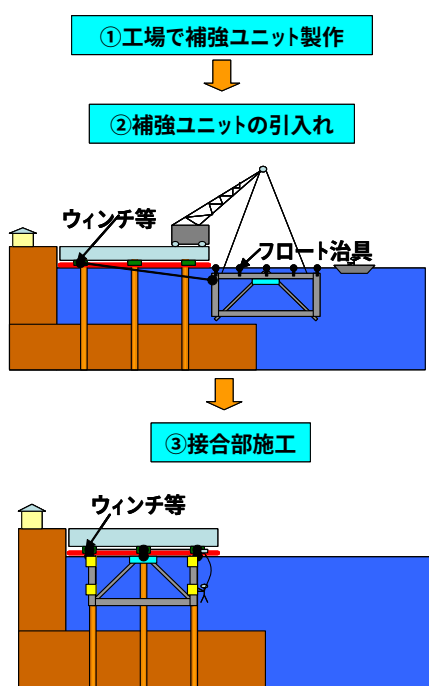


図-11 ダンパー・フレーム工法施工手順

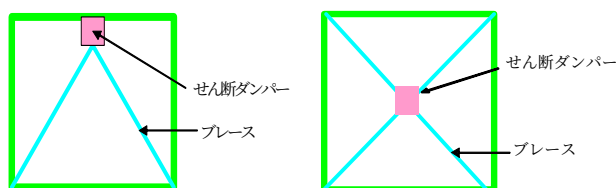


図-12 補強ユニットの概略
(左はK型、右はX型)

3.3 模擬実験による構造性能の確認

(1) 実験概要

補強の有無をパラメータとし、栈橋の杭を模擬した鋼管杭試験体の荷重実験を行うことによって、ダンパー・フレーム工法の補強効果を実験的に確認する。即ち、図-10 に示すような本工法の補強概念が成立することを実験によって検証する。

補強なしのケースを基準ケース、補強ありのケースを補強ケースと呼ぶ。基準試験体と補強試験体の試験体形

状・寸法および荷重方法の概要をそれぞれ図-13、図-14 に示す。試験体は、図-13、図-14 に示すように鋼管杭を用いた栈橋の上下を反転させたモデルとした。反力床に固定した部分が上部コンクリート側に相当し、試験体頂部が地盤側に相当する。基準ケースの試験体は、モデルおよび荷重ジャッキの対称性を考慮して、鋼管杭を1本配置した構造とした。

補強ケースの試験体は、2本の鋼管杭の間に、ダンパーとブレースを配置した構造とした。鋼管杭とブレースの接合には、鋼管杭よりも大きい直径 355.6mm の鋼管（鞘管）を用い、鋼管杭と鞘管の間に無収縮モルタルを充てんして、荷重を伝達する構造とした³⁾。

表-1 に試験体諸元を示す。表-1 において、杭本体の仕様は基準ケース、補強ケースともに共通である。また、表に示す強度は、ミルシートから得られた値である。ダンパーは、厚さ 4.5mm、高さ 107mm、幅 110mm の鋼板であり、降伏荷重は、式(1)で計算され、84.7kN である。図-15 にダンパーの寸法並びに形状を示す。

$$Q = \tau \times A = 84.7 \text{ kN} \quad (1)$$

ここに、

τ ：鋼材のせん断強度 (= $f_y / \sqrt{3}$)

f_y ：鋼材の降伏強度

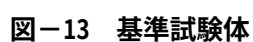
A ：ダンパー断面積 (= $B \cdot t$)

(2) 荷重方法

荷重方法は、上部コンクリートの地震時慣性力が鋼管杭に作用した場合のモーメント分布を模擬して、上部コンクリート側にあたる試験体底部を固定し、頂部に荷重を作用させる方法とした。荷重装置図を図-16 に示す。荷重は、鋼管杭の荷重点水平変位が 40mm に達したときの変位を基準の 1 δ とし、正負交番に変位を増加させることで行った。荷重ピッチは、鋼管杭の全断面降伏点を確認するため、2 δ までは 0.5 δ 刻み、それ以降は 1 δ 刻みとした。補強ケースの試験体には、鋼管杭2本に対して、それぞれ油圧ジャッキを用いて荷重を作用させた。油圧ジャッキは、荷重点変位を合わせるように制御した。計測は、荷重、変位、ひずみについて行った。ひずみは、鋼管杭、ブレース、ダンパーに貼付したひずみゲージで計測した。

(3) 実験結果と考察

図-17 に基づき、荷重-変位関係について検討する。本実験では基準ケースと補強ケースを比較するために、基準ケースの鋼管杭を2本と仮定し、基準ケースの荷重は、計測された荷重の2倍として表示した。また、補強ケースの変位は、両方の荷重点で得られた変位の平均値とした。



	使用箇所	材質	長さ	幅	厚さ	外径	降伏強度	引張強度
			mm	mm	mm	mm	N/mm ²	N/mm ²
本体	杭	STK400	2025	-	6.6	267.4	356	455
補強ユニット	ブレース部	STK400	610	-	4.2	101.6	391	417
	鞘管部	STK400	400	-	9.5	355.6	336	437
	ダンパー部	SS400	107	110	4.5	-	281	433

図-15 ダンパーの寸法及び形状

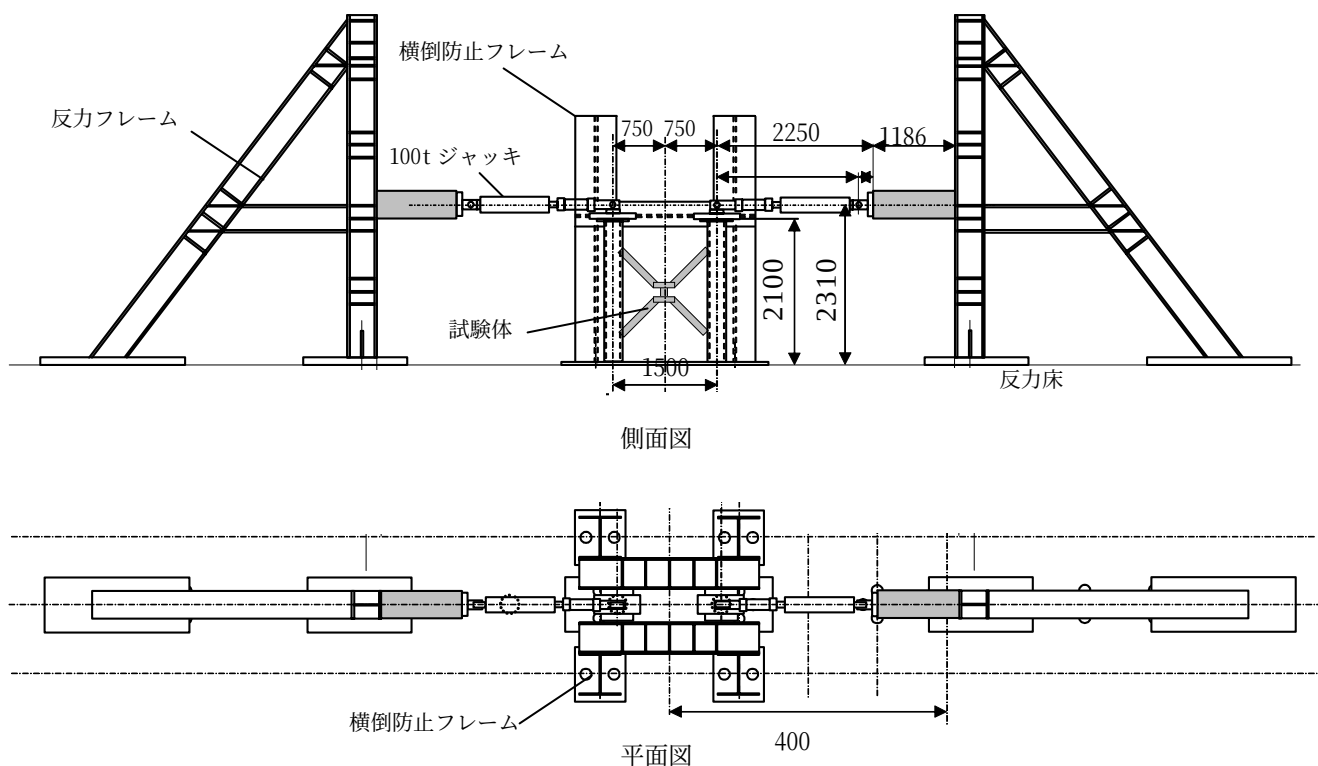


図-16 荷重装置

基準ケースにおいて、荷重点変位 40mm (1δ) 付近で鋼管杭が全断面降伏することが確認された。ここに、 δ を鋼管杭の全断面降伏時における荷重点水平変位 δ_y と再定義する。

荷重 60kN 付近で固定側の鋼管杭の引張縁および圧縮縁が降伏した。 $1\delta_y$ で鋼管杭が全断面降伏、 $2\delta_y$ で最大荷重 133kN に達した。その後、固定側の鋼管杭が座屈することで荷重が低下し、 $5\delta_y$ で降伏荷重を下回った。

一方、補強ケースでは、荷重直後から荷重増加にともないダンパーにおける 45° 方向のひずみが増加しはじめ、荷重 78kN で降伏に至った。荷重は、変位増加にともない増加し、 $1.5\delta_y$ で最大荷重 356 kN に達した。その後、 $2\delta_y$ でダンパー破断、 $3\delta_y$ でダンパー部縦リブ破断、 $4\delta_y$ で連結材破断および鋼管杭座屈が発生し、徐々に荷重が低下した。補強ケースでは、鋼管杭の固定部に鞘管を配置したため、固定部側鞘管の上部で座屈が生じた。

次に、補強した試験体の耐荷力に関して検討する。ダンパー負担荷重と鋼管杭負担荷重をそれぞれ算定する。実験に用いたダンパーは、図-18 に示すような相対変位とせん断力の関係を示すことが既往の実験²⁾により確認されている。今回の計測から δ_y 毎の相対変位は、図-18 に示すようになり、 δ_y 毎においてダンパーが負担する荷重は、同図のせん断力に一致する。この相対変位の限界値と実験でのダンパー破断時変位(図-17)の一致が確認できた。ダンパー負担荷重と荷重点変位の関係を図-

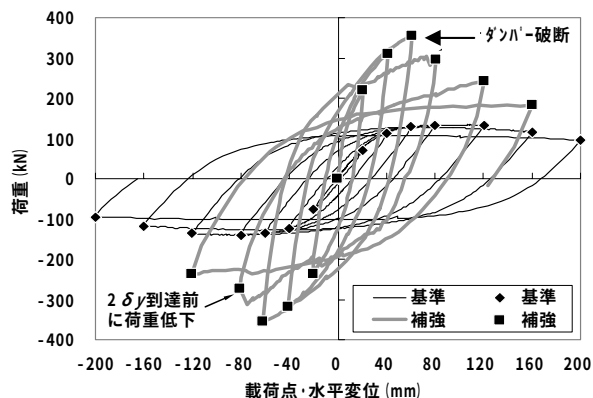


図-17 荷重-変位関係

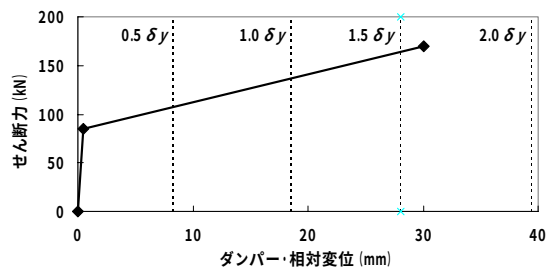


図-18 ダンパー相対変位

19 (△印) に示す。

次に鋼管杭負担荷重を検討した。基準ケースでは、固定部の抵抗モーメントで鋼管杭の耐荷力が算定されるが、補強ケースでは、鞘管を配置したため、固定部側の鞘管

上部で抵抗モーメントが最小となり、この部分で鋼管杭の耐荷力が算定される。そのため、補強ケースの鋼管杭負担荷重は、載荷点からの距離（作用モーメント）を考慮し、基準ケースの結果を修正して求めた（図-19、◆印）。図-19 にダンパー負担荷重と鋼管杭負担荷重を足し合わせた合成荷重（○印）を示す。合成荷重と補強ケースの実験結果を比較するとダンパー破断の $1.5\delta_y$ までは良い一致を示した。

3.4 FEM 解析による補強効果の評価

(1) 解析条件

本節は、ダンパー・フレーム工法の補強効果を、「港湾の施設の技術上の基準・同解説（昭和54年3月版）」⁴⁾ に掲載されている横浜港本牧ふ頭を対象に、静的および動的解析を行い検証する。図-20 に栈橋の概略を、図-21 に解析モデルを示す。図中の●は節点、線は要素を表し、座標は水面を0とし、鉛直上向きを正とする。以下、図-21 に基づき、栈橋及びダンパー、地盤のモデル化について順次示す。

① 栈橋のモデル化

栈橋の杭はファイバー要素、床版はコンクリートの弾性梁要素としてモデル化した。

杭および床版コンクリートの材料特性を表-2、表-3 に、杭の形状・寸法を表-4 に、床版の形状・寸法を表-5 に、杭に使用した鋼材の構成則を図-22 に示す。

② 補強ユニットのモデル化

補強ユニットのH鋼と鋼管ユニット部はファイバー要素とし、ダンパーは寸法0のせん断抵抗型のバネ要素とした。想定したダンパーの概略を図-23 に示す。補強ユニットに使用した鋼材の材質は全て杭と同様であり、したがって、材料特性は表-2 と共通となる。表-6 には本解析での解析ケースとダンパーの仕様を示した。表-6 に示すように、パラメータはダンパーのせん断降伏荷重とし、補強を施さない解析ケース 15 との比較によりダンパーの効果を検討するものである。なお、解析ケース 00 はダンパー以外の補強ユニットの補強効果を見るものであり、解析ケース 14 はブレースの部分が全て剛結されているので格点式ストラット工法の1つとみなすことができる。ダンパーの荷重と変位の関係を図-24 に示す。鋼部材の減衰定数は「道路橋示方書 V 耐震設計編」⁵⁾ に準じて0.01とした。

③ 地盤のモデル化

地盤は地盤バネで表現し、完全弾塑性のバネ要素としている。地盤の諸元を表-7 に示す。但し、表における物理量は「道路橋示方書・同解説」⁶⁾ と同定義である。

α : 地盤反力係数の推定に用いる係数 (E_0 にかける補正係数)

E_0 : 測定または推定した設計の対象とする位置での地盤の変形係数

KEP : 地震時の受動土圧係数

仮想地表面はマウンド高さの $1/2$ とし、仮想地表面以下の節点には地盤バネを接続している。地盤バネの値は、マウンド高さの $1/2$ を上載圧として考慮したものである。

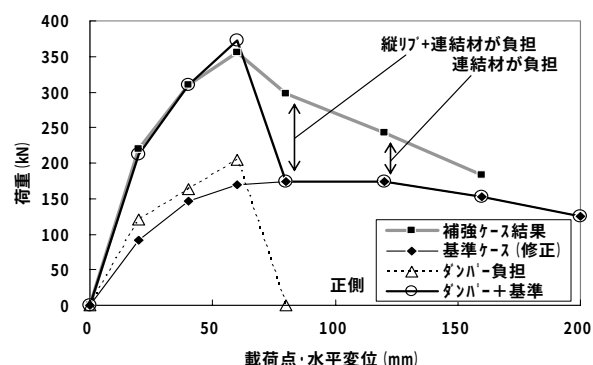
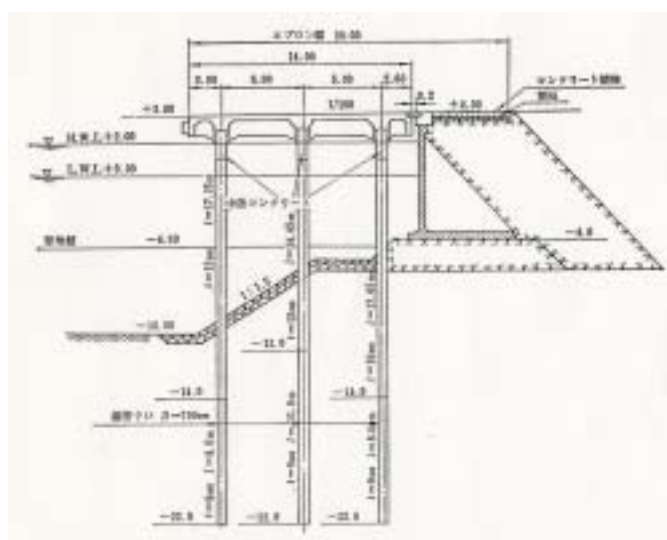
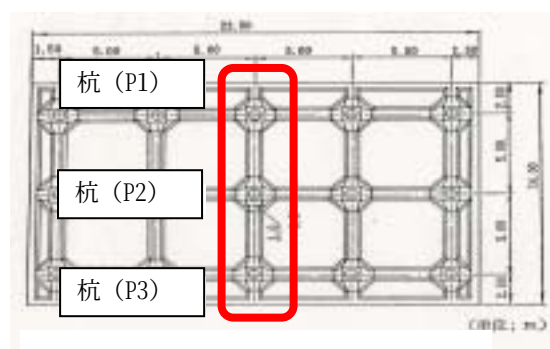


図-19 鋼管杭負担荷重とダンパー負担荷重



側面図



平面図

図-20 栈橋の概略図（横浜港本牧ふ頭）

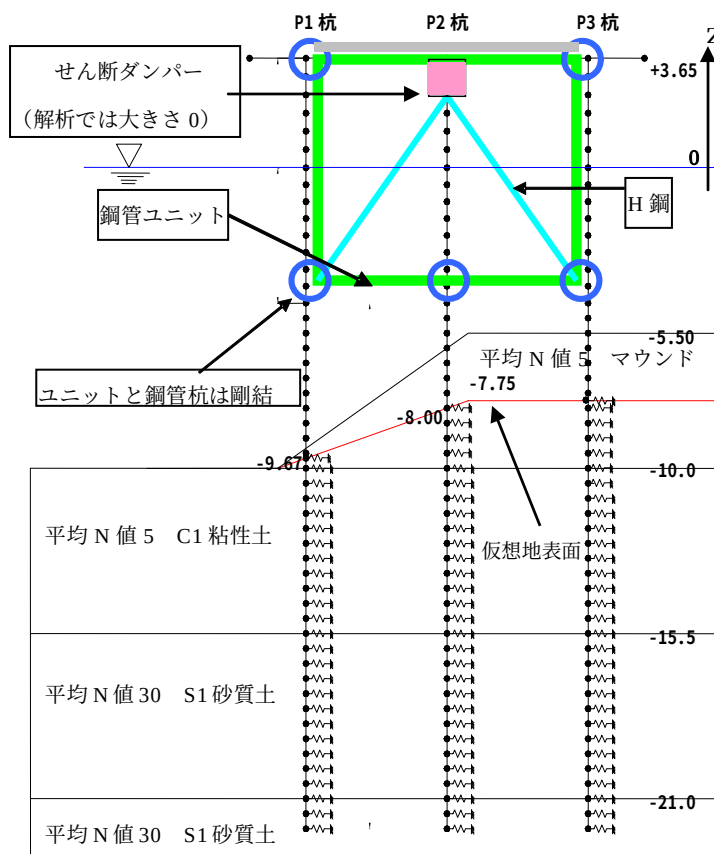


表-2 杭の材料特性

降伏点	破断强度	弹性系数	单位重量
(N/mm ²)	(N/mm ²)	(kN/mm ²)	(kN/m ³)
235	352	200	77

表-3 床版の材料特性

圧縮強度 (N/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)	弾性係数 (kN/mm ²)	単位重量 (kN/m ³)
24	1.9	25	24.5

杭	範囲 m	材質	杭外径φ mm	杭厚 t mm
P1	Ⅲ -14	SKK400	700	12
	Ⅳ -14			9
P2	Ⅲ -11			12
	Ⅳ -11			9
P3	Ⅲ -14			16
	Ⅳ -14			9

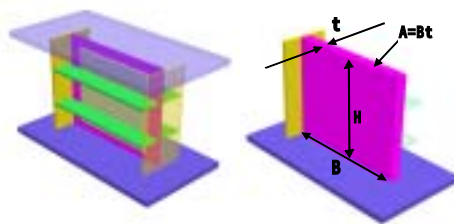
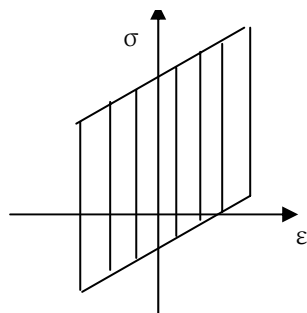


図-22 鋼材の構成則

図-23 ダンパーの概略

図-24 ダンパーの荷重-変位関係

表-6 ダンパーの諸元と解析ケース

[illegible]

表-7 地盤の諸元

土層名	土質	単位重量 γ (kN/m^3)	N値	$\alpha \cdot E_0$ (kN/m^2)	粘着力 C (kN/m^2)	せん断抵抗角 ϕ ($^\circ$)	摩擦角 δE ($^\circ$)	土圧係数 KEP
マウンド	砂質土	10	5	14000		28	-4.67	3.18
C-1	粘性土	5	5	8400	50		0.00	1.00
S-1	砂質土	10	30	84000		39	-6.50	5.65
S-2	砂質土	10	50	140000		40	-6.67	6.00

④ 動的解析の入力条件

動的解析に使用した地震波について示す。入力地震波は、兵庫県南部地震時に神戸海洋気象台で計測された加速度波形の東西成分を用いた。図-25 に詳細を示す。

(2) 解析結果と考察

① 静的解析

ダンパーの降伏耐力を変化させた静的解析の結果を図-26 に示す。補強ユニット単体を取り付けたケース（ケース 00）でも無補強ケース（ケース 15）に比べ栈橋の剛性が若干大きくなっている。ダンパーを設置したケース（01~13）は、ダンパーが降伏する変位（100 mm程度）まではほぼ同じ剛性である。また、ダンパーを用いたケースでは、ダンパーの降伏荷重の違いほど鋼管杭の降伏荷重は変化しない結果となった。

また、ケース 13, 14 に差異がほとんど見られなかった。したがって、ダンパーによる栈橋の耐荷力増加はある荷重で一定になることが確認できた。

② 動的解析

ケース 13, 14 の動的解析結果を図-27, 図-28 に示す。図から判断できるように、応答変位、応答加速度が共に類似していることがわかる。

したがって、静的特性だけでなく動的特性に関しても解析ケースの中でダンパーのせん断降伏荷重を最も大きくしたケース 13 と格点式ストラット工法の 1 つとみなせるケース 14 は同等であると考えられる。

次に、ダンパーの降伏耐力を約 100kN 毎に変化させたケース（00~13）の解析結果の最大応答変位と最大応答加速度を図-29, 図-30 に示す。凡例の降伏とは鋼管杭の降伏を意味する。解析結果より、ダンパーの降伏耐力が上昇するほど栈橋の最大応答変位が小さくなる傾向が見られる。一方、最大応答加速度はダンパーの降伏耐力が上昇するほど小さくなる傾向が見られるが、ダンパーの降伏耐力 800kN 程度を境に上昇に転じている。また、栈橋の最大応答変位が 100mm 以下でも最大応答加速度が 950gal を超えると鋼管杭に降伏が生じている。なお、格点式ストラット工法の 1 つに相当するケース 13 は降伏していることがわかる。以上より、本栈橋の条件では最大応答変位 100mm 以下で最大応答加速度が最小になる降伏耐力が約 800kN のダンパー（ケース 08）が最適であると考えられる。

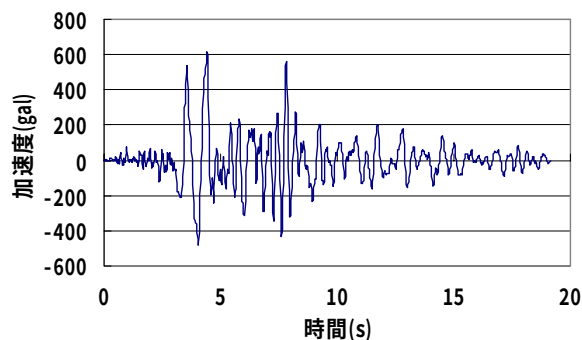


図-25 入力地震波形

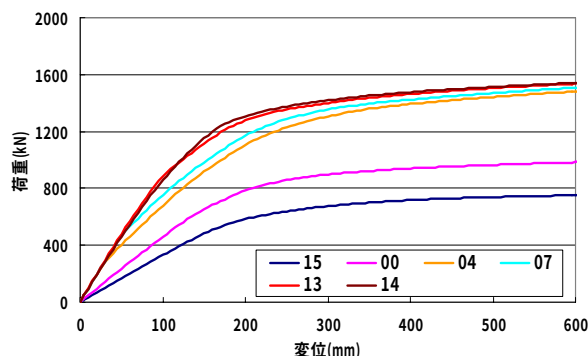
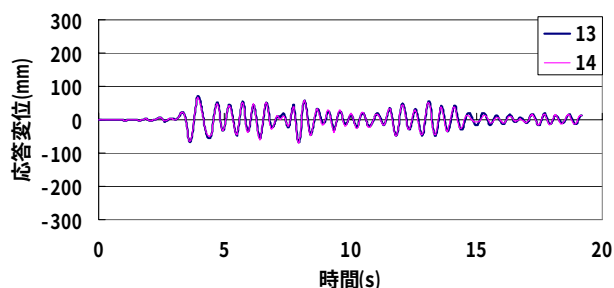
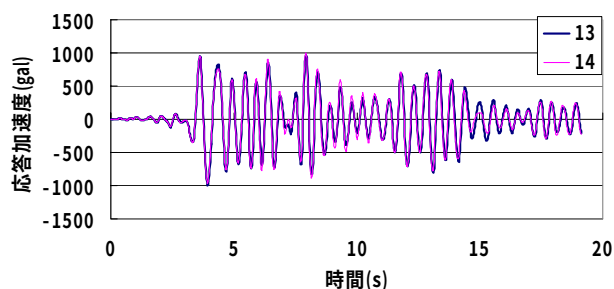


図-26 静的解析の結果

図-27 応答変位
(解析ケース 13, 14)図-28 応答加速度
(解析ケース 13, 14)

4. まとめ

本研究では、耐震補強工法としてケーソン式岸壁に対してはグラウンドアンカー工法を、杭式栈橋に対してはダンパー・フレーム工法を提案した。以下、それぞれの工法に関して得られた知見を示す。

① グラウンドアンカー工法

ケーソン式岸壁の補強はグラウンドアンカー工法が工費、工期ともに事前混合処理工法より有効であることがわかった。但し、背面土の液状化が顕著な場合には併用ケースが安価となる。

今後、緊張力の導入で地盤沈下を誘発してしまうことなどの課題を検討していく必要がある。

② ダンパー・フレーム工法

栈橋の模擬実験より、補強ケースの試験体の荷重は、鋼管杭負担分とダンパー負担分の重ね合わせが可能であることが確かめられた。

栈橋の解析より、静的荷重に対して、ダンパーの降伏荷重の違いほど鋼管杭の降伏荷重は変化しないことがわかった。

しかし、格点式ストラット工法で杭本体に降伏を生じさせる地震荷重に対しても、本工法で適切なダンパーの降伏荷重を選択すれば、最大応答変位、最大応答加速度を抑制することができ、杭本体の降伏を回避できることがわかった。

謝辞：実験実施にあたり JFE テクノリサーチ株式会社の村木幸春氏、植野良二氏に御指導と御協力を頂きました。また、本報の作成にあたり本店土木技術部の三輪俊彦氏、内田治文氏に御指導と御協力を頂き、技術研究所の龍神弘明氏には有益なご助言を頂きました。ここに厚く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) (社) 日本港湾協会：港湾施設の技術上の基準・同解説，下巻，pp. 747, 1999.
- 2) 岩岡信一ら：普通鋼 K 型制震ブレース付架構の弾塑性性状と耐震補強への適用，日本地震工学シンポジウム，第 10 回，pp. 247-252, 1998.
- 3) (財) 沿岸開発技術研究センター：格点式ストラット工法技術マニュアル，沿岸開発技術ライブラリー，No. 8, 2000.
- 4) (社) 日本港湾協会：港湾の施設の技術上の基準・同解説，3 月版，1980.
- 5) (社) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説，Ⅴ 耐震設計編，pp. 114, 2002.
- 6) (社) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説，Ⅰ 共通編，pp. 39, 43, 255, 312, 2002.

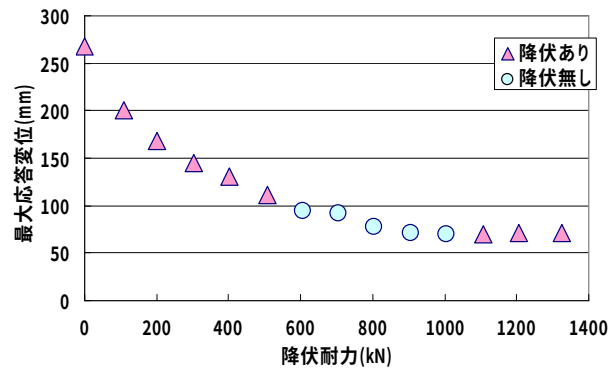


図-29 降伏耐力と最大応答変位の関係

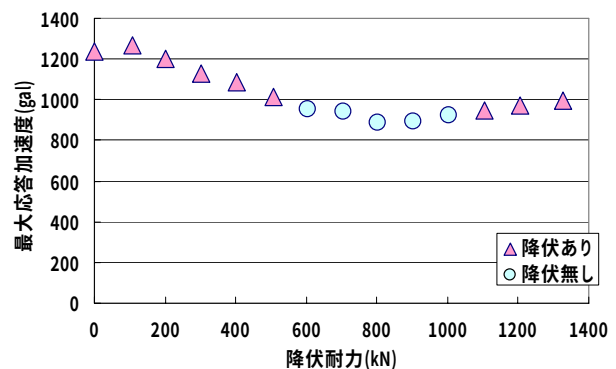


図-30 降伏耐力と最大応答加速度の関係