

ジャケット式栈橋の地震時動態観測計画と土留一体式護岸の耐震性の検討

The Observation Plan on Seismic Response of Jacket Type Piers and
Analytical Investigation on Seismic Performance for Earth Retaining Quay Wall

尾島啓介*・勝海 務**
OJIMA, Keisuke and KATSUUMI, Tsutomu

* (財) 沿岸開発技術研究センター 調査部 主任研究員

** (財) 沿岸開発技術研究センター 調査部第二調査部長

This paper presents the observation plan on seismic response of jacket type piers. Moreover, this paper indicates analytical investigation on seismic performance for earth retaining quay wall, dynamic behavior is elucidated by dynamic inelastic analyses.

Key Words : jacket type pier, earth retaining quay wall, seismic behavior, dynamic inelastic analyses

1. はじめに

近年、物流が国際化することにより航行船舶が大型化してきている。しかし、わが国では、大型船舶に対応可能な大水深の港湾施設が不足しており、物流拠点となる港湾施設整備が求められている。一方で、兵庫県南部地震をはじめとする直下型あるいは海洋型の巨大地震により、わが国の港湾施設は多大な損傷を受けてきており¹⁾、このため耐震強化施設では、レベル2地震動に対しても速やかな機能回復が可能となるように耐震設計が求められている。東京港大井埠頭新5バースでは、耐震強化型の栈橋用に開発された非線形動的解析手法を用いた耐震照査法²⁾により、耐震設計手法の妥当性の確認、ならびに本施設で初めて採用されたジャケット式栈橋の動的挙動を明らかにすることを目的に、地震時動態観測計画を策定した。また、栈橋と違い土留矢板と一体となった護岸構造物については、動的な土圧の評価が困難なこともあり、耐震照査手順において不明確な部分が残されていた。そこで、地震時土圧の動的な挙動を考慮した土留一体型鋼製護岸構造物の耐震照査手法を提案すると共に、川崎港東扇島コンテナバースで検討が進められている護岸構造を対象に耐震照査を試みた。

本報告は、大井埠頭コンテナバースのジャケット式栈橋地震時動態観測計画と土留一体式護岸の耐震照査手法および耐震照査結果について報告するものである。

2. ジャケット式栈橋の地震時動態観測計画

大井埠頭に新設されるジャケット式栈橋、斜杭式栈橋において、地盤、栈橋ならびにコンテナクレーンの動的挙動、および栈橋とコンテナクレーンとの動的相互作用の影響を明らかにするための動態観測計画を立案した。また、ジャケット式栈橋と斜杭式、直杭式栈橋の動的特性を明確にするために、地震計を設置済みの青海埠頭第4

バースとの比較ができるように観測計画を策定した。提案する地震時動態観測システム構成を図-1に示す。

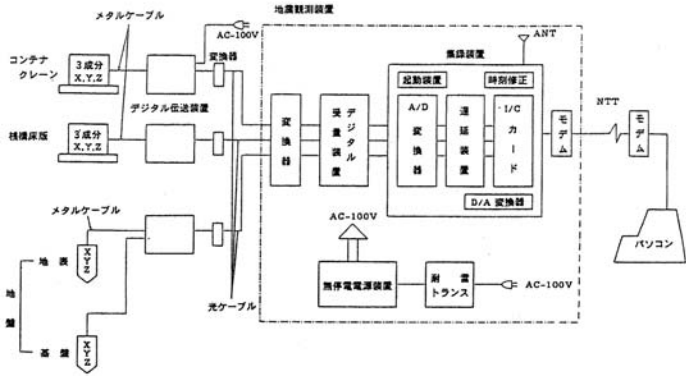


図-1 地震時動態観測システム構成

2.1 観測内容

(1) 観測項目

地震時の応答観測は加速度計測とした。後述する観測位置で水平加速度(2成分:護岸法線直角方向, 護岸法線方向)ならびに鉛直加速度を観測する。

(2) 事前調査項目

観測に先立ち表-1に示す項目について事前調査を行い、地盤・栈橋の特性を把握しておくこととした。

表-1 事前調査項目

	標準貫入試験	N 値
地盤	PS 検層	初期せん断剛性
	密度検層	密度
	非排水三軸試験	せん断ひずみ特性
栈橋	常時微動	固有周期

(3) 観測機器の設置位置

観測機器は表-2 および図-2 に示す位置に設置し、地震時応答を観測することとした。コンテナクレーンと栈橋の連成の影響が計測できるように、栈橋の計測位置はクレーン係留点になるべく近い位置に設定した。

表-2 観測機器の設置位置

観測機器	場 所		新5B		新4B	設置理由
加速度計	地 盤	基 盤	○共通			現地基盤への入射波の計測
		地 表	○共通			地盤の最大震動を計測
	栈 橋	天端 (床版)	○	○		栈橋の最大震動を計測
	コンテナ クレーン	機械室	○	○		コンテナクレーンの重心近くで、代表的な震動を計測
観測装置	埠頭内建屋		○共通			観測波の表示、一次蓄積

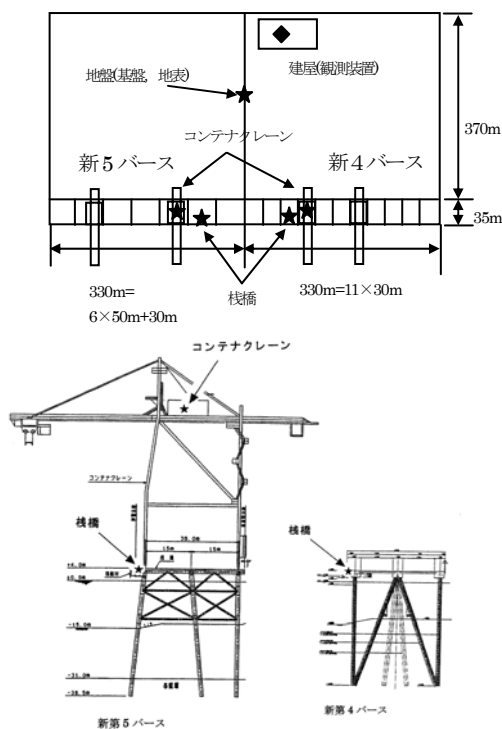


図-2 観測位置図

2.2 観測体制

観測された地震時応答は国土交通省国土技術政策総合研究所のアレー観測網内に組み込まれ解析されることとなる。地震時の計測データは観測地点で一次蓄積された後、ISDN 回線によりデータが転送される。

3. L2 地震動に対応した動的解析による土留一体式護岸の耐震性照査

3.1 耐震照査手法の提案

(1) 護岸・岸壁の耐震照査手法

護岸・岸壁の耐震照査手順を図-3 に示す²⁾。耐震強化岸壁の場合、非線形動的解析法により耐震照査することとなっているが、土留矢板と一体となった護岸に関しては動的解析時の動的な土圧の取扱いが不明確であった。

地震時土圧を考慮しなければならない構造の耐震設計手法として考えられるのは、構造物と地盤を一体で応答解析する一体解析と、地盤の応答解析と構造物の応答解析を分けて実施する分離解析がある。ここでは、構造物の非線形性が解析上考慮できる分離解析の方が耐震照査上好ましいと判断した。この時の課題としては、非線形骨組み解析モデルへの土圧の入力方法があるが、非線形骨組み解析時においても地盤の非線形性を考慮できるようにと、図-3 に示すように地盤の応答変位を地盤バネを介して入力する方法を採用した。

【耐震強化岸壁の場合】

設計震度=地域別震度×重要度係数(1.5)×地盤種別係数
or
重反射モデル(SHAKE 等)による地盤最大加速度 α より
 $K_h = \alpha / g$ $\alpha \leq 200 \text{ gal}$
 $K_h = 1/3(\alpha / g)^{1/3}$ $\alpha > 200 \text{ gal}$ (野田・上部式)

解析方法

- ・非線形動的解析法：・液状化・地盤の大変形の可能性がある場合でも実施することが望ましい
- ・液状化・地盤の大変形の可能性がある場合⇒FLIP 等(構造+地盤)+非線形骨組み解析

レベル2 地震動に対する照査

破壊形態、杭支持力、矢板根入れ長
最大変位、残留変位： $\delta_{\max} < 30 \text{ cm}$ 岸壁水深-7.5m 以上
 $\delta_{\max} < 20 \text{ cm}$ 岸壁水深-7.5m 未満
終局状態：同一杭の2点が全塑性モーメントに達する状態
非線形動的解析で終局状態に至らない事を照査

解析手順

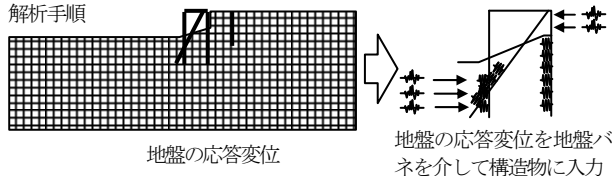


図-3 護岸・岸壁の耐震照査手順

(2) 非線形骨組み解析の地盤バネ値の設定方法

次に、非線形骨組み解析時の地盤バネ値の設定について検討を実施した。まず、各基準により定義される水平地盤反力係数と、地盤応答解析から求めた地盤の等価せん断変形係数より導出される水平地盤反力係数を比較した。比較の結果を以下に示す。

① 道路橋示方書IV下部構造編³⁾ (以下道示)

$$E_0 = 28N$$

$$k_{H0} = \frac{1}{30} \alpha E_0$$

$$k_H = k_{H0} \left(\frac{B_H}{30} \right)^{-\frac{3}{4}}$$

E_0 : 地盤の変形係数

α : 地盤反力係数の推定に用いる係数 N 値=10の場合

地震時は $\alpha = 2$

$$E_0 = 280 \text{ kgf/cm}^2$$

k_{H0} : 水平地盤反力係数の基準値

$$K_{H0} = \frac{1}{30} \cdot 2 \cdot 280 = 18.67 \text{ kgf/cm}^3$$

B_H : 換算載荷幅

k_H : 水平地盤反力係数

$$K_H = 18.67 \cdot \left(\frac{238.4}{30} \right)^{-\frac{3}{4}} = 3.94 \text{ kgf/cm}^3$$

② 港湾の施設の技術上の基準・同解説³⁰⁾ (以下港湾基準)

$$k_h = 0.15N$$

N : 地盤の $1/\beta$ 付近までの平均 N 値

地震時は k_h を2倍するか道示に準ずる。

N 値=10の場合

$$k_h = 0.15 \cdot 10 \cdot 2 = 3 \text{ kgf/cm}^3$$

③ 地盤応答解析より求まる地盤の等価せん断変形係数より求める場合

$$E_D = 2(1 + \nu_D)G_D$$

$$k_{H0} = \frac{1}{30} E_D$$

$$k_H = k_{H0} \left(\frac{B_H}{30} \right)^{-\frac{3}{4}}$$

E_D : 地盤の動的変形係数

G_D : 地盤の等価せん断剛性

k_{H0} : 水平地盤反力係数の基準値

B_H : 換算載荷幅

k_H : 水平地盤反力係数

地盤の初期剛性

$$G_0 = 23,900 \text{ KN/m}^2$$

地盤の等価せん断剛性

$$G_{eq} = 15376 \text{ KN/m}^2$$

$$E_D = 439.31 \text{ kgf/cm}^2$$

$$K_{H0} = 14.64 \text{ kgf/cm}^3$$

$$K_H = 3.09 \text{ kgf/cm}^3$$

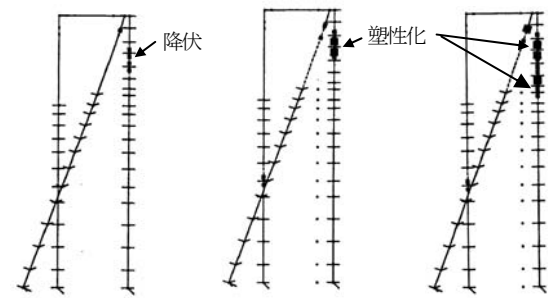
比較の結果、道路橋示方書、港湾基準の両基準より求まる地盤反力係数と、解析上求まる地盤反力係数は深度が深くなればほぼ等価になることが分かり、各基準に定められている水平地盤反力係数より地盤バネ値を設定する方法の妥当性を確認した。

(3) 地盤バネ値の影響について

非線形骨組み解析に用いる地盤バネのバネ剛性の設定がどのような影響を及ぼすか確認することを目的に、道路橋示方書で定義される地盤反力係数を基に、その値を極端に軟らかくした場合(1/10倍)、硬くした場合(10倍)について応答の比較を行った。結果を図-4に示す。

比較結果より、地盤バネ値の設定によって構造物に生じる損傷度合いはバネが硬いほど大きくなる傾向が有る。これは、バネが硬く構造物に地盤の応答が直接入力される為であると考えられる。地盤の軟化による剛性の低下が初期剛性の半分程度であることを考えると、地盤種別

(3種地盤：地盤固有周期 1.67s) に対し、道路橋示方書で定義されるバネ剛性の10倍というバネは硬すぎると考えられ、非線形骨組み解析時に地盤バネ値を適切に設定する事の必要性を確認した。



道示バネ×1/10

道示バネ

道示バネ×10

図-4 非線形骨組み解析における地盤バネ値の影響

3.2 土留一体型鋼製護岸の耐震照査

(1) 地震応答解析条件

検討対象とした川崎港東扇島の岸壁形状を図-5に示す。検討においてはコンテナクレーンの有無が耐震照査上その性能に与える影響も調査した。

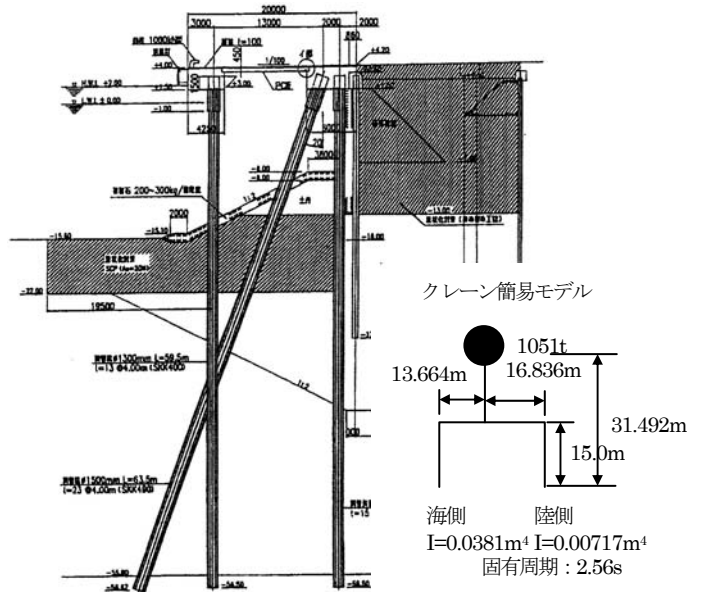


図-5 解析対象岸壁 (川崎港東扇島)

解析プログラムとして地盤応答解析には液状化を考慮できるFLIPを、非線形骨組み動的応答解析には長柱座屈を考慮できるCAP(弾塑性骨組み解析プログラム)を用いた。解析条件を表-3に示す。

表-3 解析条件

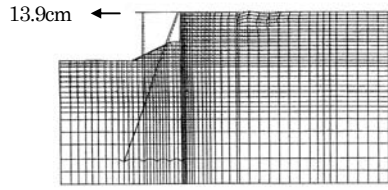
地震波	八戸波 $A_{cor}=498\text{gal}$
コンテナクレーン	簡易モデル
地盤応答解析時	構造物：線形モデル 地盤：非線形(液状化考慮)
非線形動的応答解析時	構造物：非線形(座屈) 地盤バネ：非線形(道示下部構造編)

(2) 耐震照査結果

地盤応答解析結果ならびに非線形骨組み動的応答解析結果を図-6, 7に示す。

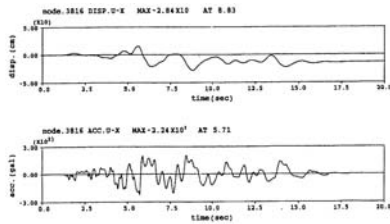
① 地盤応答解析結果

クレーンなし

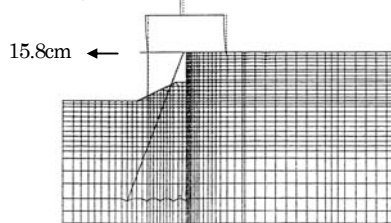


最大変位：28.4cm, 残留変位 13.9cm

最大応答加速度：224gal

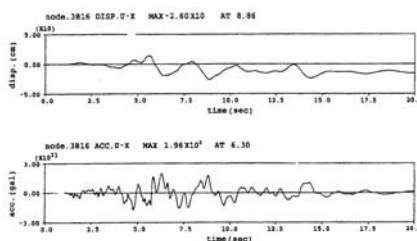


クレーン有り



最大変位：26.0cm, 残留変位 15.8cm

最大応答加速度：196gal



クレーンの最大変位：134cm, 最大応答加速度：746gal

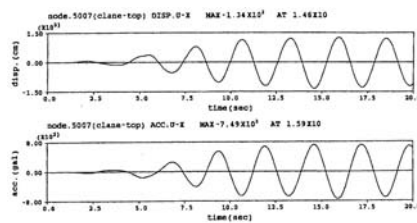


図-6 地盤応答解析結果

クレーン有りが、クレーンなしに比べて最大変位が小さく、残留変位が大きくなっている。これは、クレーンと栈橋の固有周期の差により振動に位相差が生じたためと考えられる。

②非線形骨組み応答解析結果

非線形骨組み解析による 20 秒後の損傷状況を図-7 に発生断面力比および支持力安全率を表-4 に示す。

クレーンなし

クレーン有り

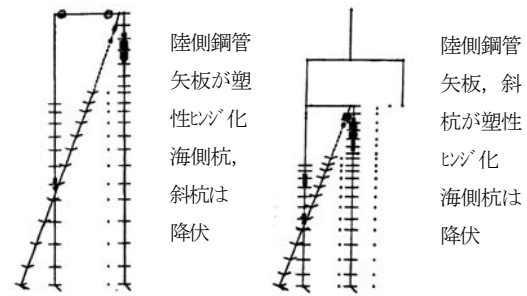


図-7 非線形骨組み解析結果

表-4 断面力比及び支持力安全率

部材		発生断面力/Ny.Mp		支持力安全率	
		クレーンなし	クレーン有り	クレーンなし	クレーン有り
海側杭	軸力	0.113	0.369	12.85	4.90
	モーメント	0.523	0.950		
陸側矢板	軸力	0.225	0.271	2.51	2.12
	モーメント	0.853	0.850		
斜杭	軸力	0.374	0.432	1.46	1.44
	モーメント	0.853	0.894		

本ケースの護岸構造は震度法 ($k_h=0.27$) で土圧を考慮した設計がされており、地盤応答解析結果、非線形骨組み応答解析結果から、レベル2地震動に対しても十分な耐震性を有していることが確認できた。また地震時土圧を受ける護岸構造の場合、地震時に考慮すべき外力として、コンテナクレーンの影響はさほどなく土圧が支配的であることが確認された。

4. おわりに

大井埠頭コンテナバースに採用されたジャケット式栈橋の地震時動態観測計画を策定することができた。土留め一体式護岸構造物の耐震照査手法を提案すると共に、今回の手法で川崎港東扇島地区岸壁の耐震設計を実施した結果、震度法で決定した断面を照査することができた。

本論文に示した検討内容は、ジャケット工法設計技術調査検討会〔発注者：運輸省第二港湾建設局 横浜調査設計事務所、検討会議長：山本修司（前運輸省港湾技術研究所 計画設計基準部設計基準研究室長）〕よりご指導・ご助言を頂いた。関係各位に感謝の意を表する。

参考文献

- 1) 稲富隆昌ほか：1995年兵庫県南部地震による港湾施設等被害状況，港湾技研資料，No.857，1762 p.，1997。
- 2) (財)沿岸開発技術研究センター：ジャケット工法技術マニュアル，294 p.，2000.1。
- 3) (社)日本道路協会：道路橋示方書・同解説IV下部構造編，pp.103～566，1996。
- 4) 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，1181 p.，1999.4。