

# グランドアンカー工法による鋼矢板式護岸の耐震補強効果

神立 佳広<sup>1</sup>・清宮 理<sup>2</sup>

<sup>1</sup>早稲田大学大学院学生 創造理工学研究科 建設工学専攻 (〒160-0017 東京都新宿大久保3-4-1)

E-mail: yoshihiro@ruri.waseda.jp

<sup>2</sup>早稲田大学教授 創造理工学部社会環境工学科 (〒160-0017 東京都新宿大久保3-4-1)

E-mail: k9036@waseda.jp

鋼矢板式護岸のグランドアンカーによる耐震補強の適応性について、非液状化地盤及び液状化地盤を対象に時刻歴応答解析を行って検討した。液状化地盤ではFLIPを、非液状化地盤ではT-DAPⅢを用いた。グランドアンカー補強工法により護岸の地震時の残留水平変位量を大きく抑制できた。非液状化地盤では、上部にグランドアンカーを設置する方が効果が得られたが本数を増やしても抑制は大きく変わることはなかった。一方、液状化地盤では、設置高さを変えても大きな違いはなかったが、本数による効果は大きかった。

**Key Words :** ground anchor method, steel sheet pile-style revetment, liquefaction, FLIP, TDAP

## 1. はじめに

人工島や埋立地などの周囲は護岸や岸壁構造となっているが、軟弱地盤に建設される場合地震時の影響を受けやすい。地震時の水平移動量によっては港湾施設及び岸壁の使用に大きな影響を及ぼす。そこで地震によるこの移動量を許容値内に抑えられるように護岸構造を設計施工する必要がある。

今回の研究は、地震時に鋼矢板式の護岸構造物に発生する変位量と曲げモーメントを、地盤の材料非線形性を考慮した有限要素法により算定した。変位量を供用可能な値以内にするためグランドアンカーを設定する工法を取り上げて検討する。護岸構造の変位量の照査では残留変位量が重要となる。護岸法線方向の沿う相対変位量を抑えることにより船舶の接岸が可能でありまたエプロンでの車両の運行が可能となる。レベル2地震動では構造物が崩壊しないととも約1m以内の残留水平変位量を性能目標にしている。この照査のため材料非線形性を考慮した解析手法が必要となる。

本報告では、グランドアンカーの設置の有無による比較、グランドアンカーの設置条件・本数を変え、最適な設置位置と本数による影響についての検討を行った。また、鋼矢板の周辺地点に液状化が発生する地盤条件で

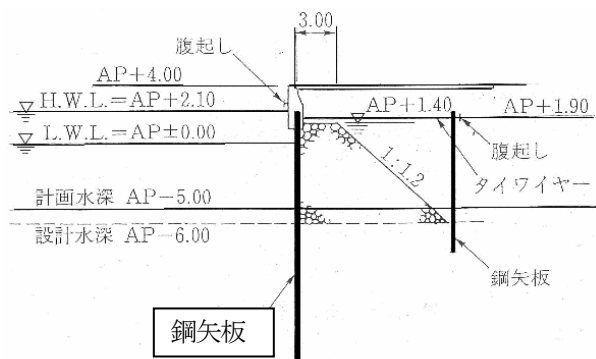


図1 鋼矢板式の護岸構造

も同様な解析を行い、この工法の適用性についての検討を行い、グランドアンカーの耐震効果を調べた。

## 2. 計算モデル

非液状化地盤では、有限要素法プログラムT-DAPⅢによって、液状化地盤ではFLIPによって時刻歴応答解析を行った。図1に鋼矢板式の護岸構造の概要を示す。前面設計水深-6mで標準的な鋼矢板式護岸である。SY295の鋼矢板を-10mまで鉛直に打設し控え杭とワイヤーで

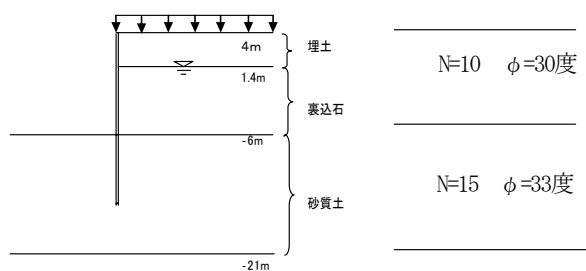


図2 地盤条件の概要

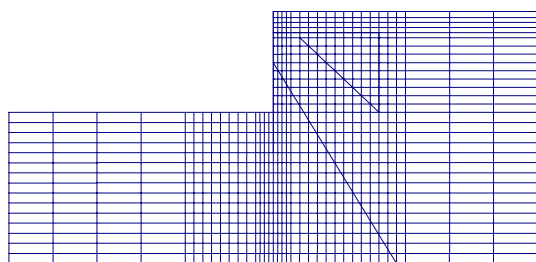


図3 有限要素モデル

連結して護岸部の安定性を図っている。鋼矢板の背面は裏埋石が設置されている。この護岸の当初の設計震度は0.2である。また、図2に土質条件などの概要を示す。表層地盤は比較的軟弱な砂質土で構成され、-21m以深は堅固な砂礫層になっている。鋼矢板は梁要素に置換した。鋼矢板の降伏曲げモーメントは625.4kN・mで全塑性曲げモーメントは788.0kN・mである。グラウンドアンカーはばね要素に置換した。グラウンドアンカーは径519.3mm<sup>2</sup>のケーブルを使用した圧縮型グラウンドアンカーである。アンカーの形式は、F100TでPCΦ11.1の七本構成を使用した。ケーブルの降伏荷重は839kN、破断荷重は938kNで破断時の伸びは17.4%で許容される伸びは約3.5%である。またばね要素では圧縮側は抵抗しないモデルとする。圧縮型グラウンドアンカーでは地盤との付着部は先端付近にあり、グラウンドアンカー定着部との途中はポリエチレン被覆で鋼材の防食を確保するとともに周辺地盤との摩擦がほとんどない構造となっている。護岸奥行き1mあたりグラウンドアンカーを1本設置する。図3にT-DAPⅢの有限要素モデルを示す。総要素数は987個で両側の境界条件は水平ローラーとしている。護岸上の地震時の上載荷重は10kN/mとした。

地震応答解析に先立ち初期値を設定するため自重解析を行う必要がある。今回TDAPでは埋め立てが完了した時点で自重解析を行い、FLIPでは埋め立てを4回に分割して建設過程を考慮して自重解析を行っている。

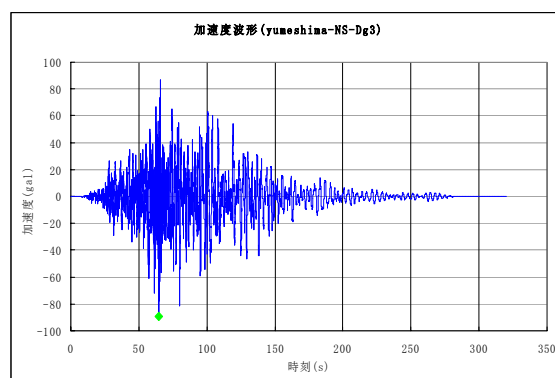


図4 南海・東南海地震の人工加速度波形

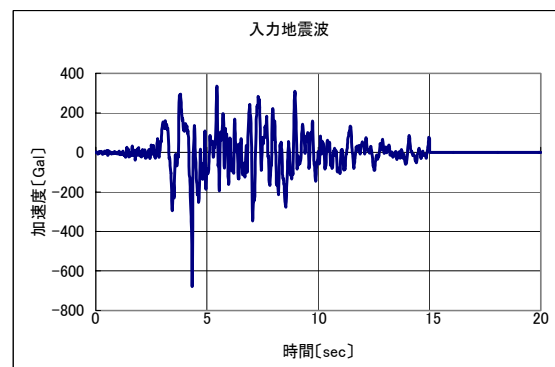


図5 兵庫県南部地震の加速度記録

### 3. 入力地震動

今回レベル2地震動を対象としている。非液状化地盤では1995年兵庫県南部地震でのポートアイランド地下-83mで得られた加速度記録(最大加速度697GAL)を用い、液状化地盤では南海・東南海地震の想定地震動(最大加速度90GAL、継続時間100秒)での人工加速度波形を用いた。前者は比較的最大振幅は大きい波数が少ない地震動で、後者は最大振幅は小さいが継続時間が長い地震動である。いずれの波形も港湾構造物の耐震設計に良く使用される。

南海・東南海地震の人工加速度波形を図4に、兵庫県南部地震の加速度記録を図5に示す。

### 4. 検討内容

計算検討は非液状化地盤と液状化地盤の双方において次の3つの検討を行う。

#### (1) グラウンドアンカーの有無の検討

グラウンドアンカー無しと有りて鋼矢板に計算される曲げモーメント、残留水平変位量の比較を行う。

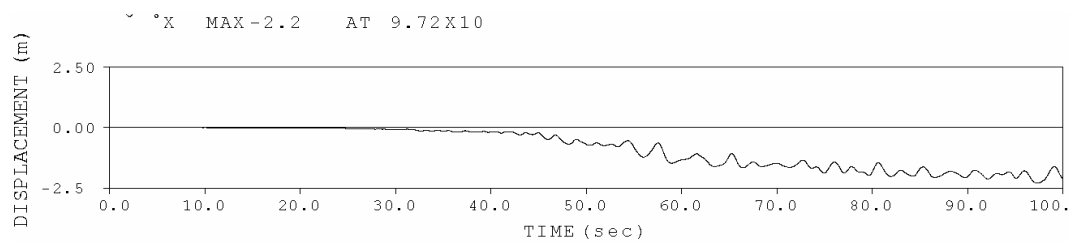


図11 時刻歴応答変位(南海、東南海地震)

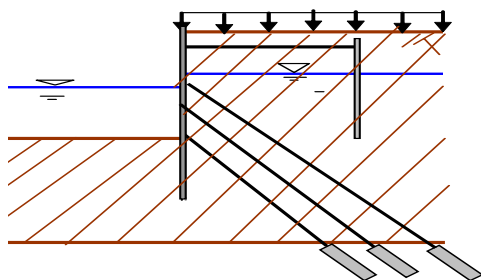


図6 グランドアンカーヘッド設置高さによる比較

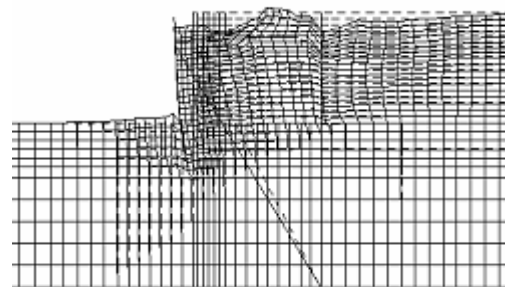


図9 グランドアンカー有りの地盤の残留水平変位量(液状化)

アンカー無

アンカー有

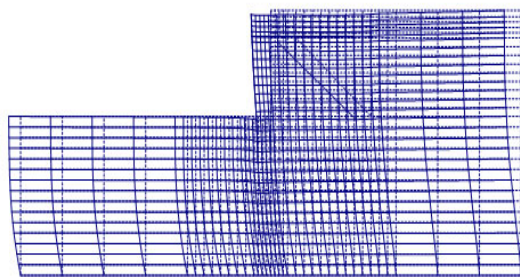


図7 グランドアンカー無しの地盤残留水平変位量

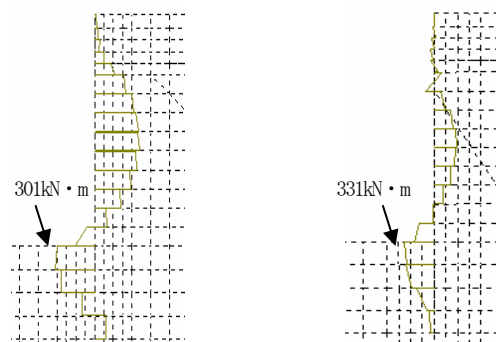


図10 グランドアンカー有無の鋼矢板の曲げモーメントの比較

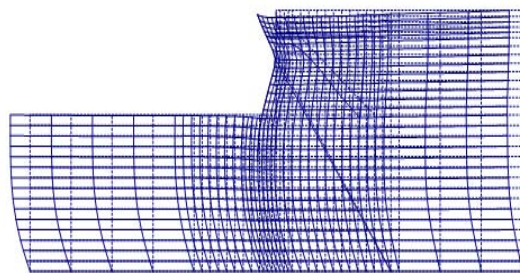


図8 グランドアンカー有りの地盤変位

## (2) グランドアンカーヘッド設置高さによる検討

図6に示すように、グラウンドアンカー工法においてグラウンドアンカーヘッド設置高さを変え、高さの違いによる比較を行う。

## (3) 設置本数による検討

鋼矢板と接続するグラウンドアンカーの1m当りの本数を変え、本数の違いによる比較を行う。本数は1、2及び3本とする。

## 5. 計算結果

図7にグラウンドアンカー無しのT-DAPⅢでの残留水平変位量図を、図8にT-DAPⅢでのグラウンドアンカー有りの残留水平変位量図を示す。図9にFLIPでのグラウンドアンカー有りの残留水平変位量の図を示す。グラウンドアンカーが無しでは護岸全体が前方に移動するが、グラウンドアンカーがあると移動が押さえられる。グラウンドアンカーが無いと鋼矢板はなだらかに変形するが、グラウンドアンカーがあると接続点での変位が抑えられS字状の変形となる。

非液状化地盤では、護岸上部の残留水平変位量は、グラウンドアンカーがあると25.63cmから13.0cmに抑えられた。図10にグラウンドアンカーの有無による鋼矢板の曲げモーメントの比較を示す。根入れ部において曲げモーメント

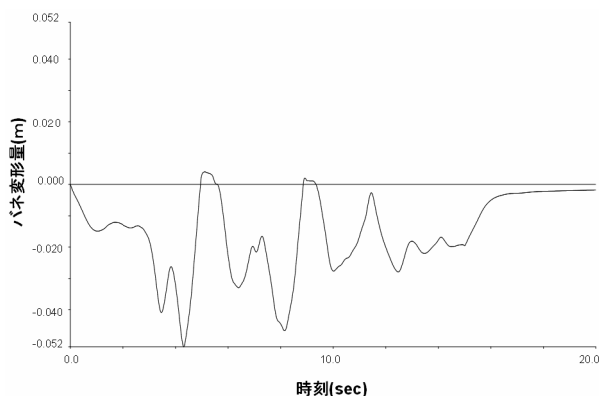


図12 グランドアンカーの変形量の時刻歴

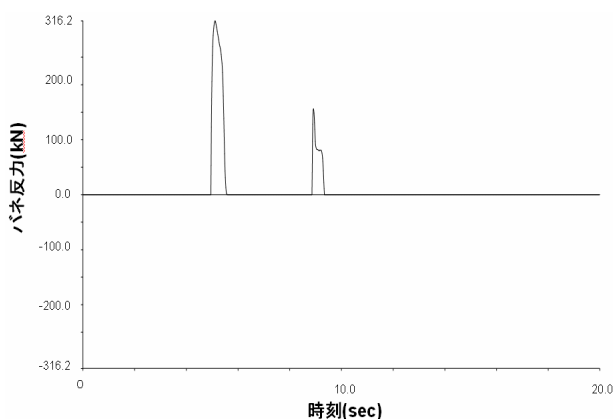


図13 グランドアンカーのバネ反力の時刻歴

ントが大きく出ていることが分かる。このときの最大曲げモーメントは $331\text{kN}\cdot\text{m}$ で降伏曲げモーメント $625.4\text{kN}\cdot\text{m}$ 以内であった。また、液状化地盤でのグラウンドアンカーの無い場合の護岸上部の時刻歴応答変位を図11に示す。入力後40秒付近から護岸の水平変位が次第に増加し80秒付近で2.5mほどの残留水平変位量となりその後ほぼ一定となった。2mを越す残留水平変位量となりレベル2地震動に対して耐震性能を満足していない結果となった。グラウンドアンカーを設置することにより残留水平変位量はかなり小さくなるがそれでも1mを越す値となった。鋼矢板の変位量が大きいことから、グラウンドアンカーには大きな引張力と伸びが計算された。図12に非液状化地盤でのグラウンドアンカーの変形量の時刻歴を、図13にバネ反力の時刻歴を示す。圧縮側の軸力は生じていないが引張側の伸びは非液状化地盤で0.39%で $958.6\text{kN}$ の最大軸力となった。グラウンドアンカーの許容値（弾性範囲）以内であった。液状化地盤では残留水平変位量が1.7mほどでありこのときのグラウンドアンカーの伸びは6.7%となった。

この値はグラウンドアンカーの許容値約3.5%を超えて

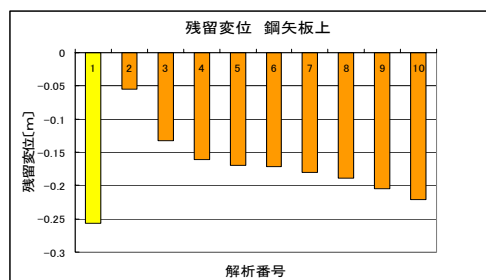


図14 アンカー設置高さによる残留変位の違い

表15 解析番号とアンカーヘッド設置高さ

| 解析番号 | アンカーヘッド設置高さ(m) |      |
|------|----------------|------|
|      | 非液状化           | 液状化  |
| 1    | なし             |      |
| 2    | 1.4            | 1.9  |
| 3    | 0.58           | 1.4  |
| 4    | -0.24          | -1.8 |
| 5    | -1.07          | -5   |
| 6    | -1.89          |      |
| 7    | -2.71          |      |
| 8    | -3.53          |      |
| 9    | -4.35          |      |
| 10   | -5.18          |      |

いる。しかし破断には達していない一応構造物としての形状は保持していると考えられる。ただ許容値を3.5%以内に抑えようとする場合グラウンドアンカーの径を更に大きくする必要がある。

## 6. 結果

### (1) 非液状化地盤

グラウンドアンカーの設置位置をA P (荒川標準潮位)より1.4mから-5.18mに変えた9パターンの護岸上部の海側残留変位(海側を負としている)を図14に示す。図14で最左端の解析番号1の棒グラフがグラウンドアンカーなしの場合を表し、解析番号が大きくなるに従いグラウンドアンカーヘッド位置が深くなっている。つまり、解析番号2が設置位置A P 1.4m、解析番号10が設置位置A P -5.18を表している。この詳細は表15に示した。残留水平変位量は設置位置が高いほど小さくなり最上端では5cmほどに低減した。上方に設置するほどグラウンドアンカーの補強効果が現れた。

また、グラウンドアンカー1段、2段、3段におけるそれぞれの残留変位量を図16に示す。段数により差ほど大きな

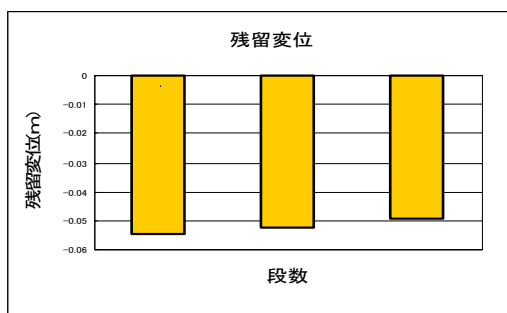


図16 設置本数による残留変位の違い

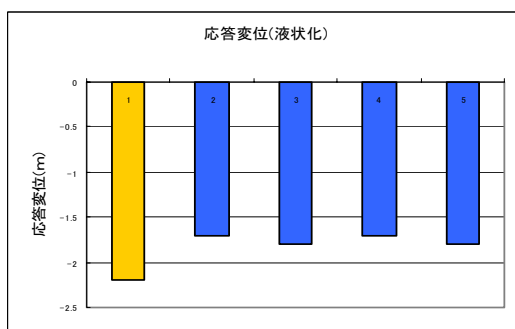


図17 設置高さによる残留変位の違い(液状化地盤)

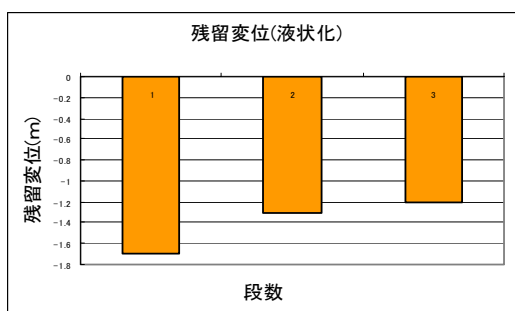


図18 設置本数による違い(液状化地盤)

補強効果は見られなかった。非液状化地盤では残留水平変位量の観点からは、耐震性能をいずれも満足している。

## (2) 液状化地盤

同様に、グラウンドアンカーの有無、グラウンドアンカー設置高さの違いによるそれぞれの残留水平変位量を図17に示す。液状化地盤においては、1.9mから-5mの4種類である。液状化地盤では設置高さによる影響はあまり見られなかった。

また、グラウンドアンカー1段、2段、3段におけるそれぞれの段の残留変位量を図18に示す。段数を増加させると残留水平変位量はかなり低減できた。グラウンドアンカーを設置することにより残留水平変位量が約半分程度に低減できることがわかったが、耐震性能として十分満足できるまでは耐震効果が今回見られず今後の検討を残した。

## 7. 結論

### (1) グラウンドアンカーの有無

非液状化地盤と液状化地盤共に、グラウンドアンカーを設置すると護岸の地震時の残留水平変位量が大きく抑えられレベル2地震動での耐震性能を満足できる。一方鋼矢板の曲率が大きくなる為、根入部において曲げモーメントの値が大きく計算された。

### (2) アンカーヘッドの設置高さによる違い

液状化地盤では、グラウンドアンカーのヘッド設置高さは残留水平変位量に大きな影響を及ぼさなかった。一方、非液状化地盤では、グラウンドアンカーをより上に設置すると、より残留水平変位量が抑えられた。鋼矢板の地中部の曲げモーメントは設置位置が深くなると増加傾向が見られた。護岸の変位抑制の観点では上部にグラウンドアンカーを設置するとより効果があった。

### (3) 設置本数による違い

非液状化地盤においては、グラウンドアンカーの本数を大きくすると護岸の残留水平変位量は抑えられたが、その程度は大きくなかった。一方、液状化地盤においては、グラウンドアンカーの効果はより顕著に表れ、段数を増やすことで護岸残留変位量は大きく抑えられた。

以上述べたようにグラウンドアンカーは護岸の地震時の残留水平変位量を抑制するのには大きな効果があるが、配置方法、本数など十分検討する必要がある。また、液状化地盤ではグラウンドアンカーにはレベル2地震動で破断までには至らないが許容値を超える伸びが計算された。

今後、グラウンドアンカーの地震時の定着機構、グラウンドアンカーの耐荷力、地震時の設計の考え方などについて検討していきたい。

謝辞：(株) パシフィックコンサルタンツの佐藤成氏には FLIP のご指導と多大なるご協力をいただいたことに感謝する。

## 参考文献

- 1) (財) 沿岸開発技術研究センター：港湾構造物設計事例集 1999. 4
- 2) 鹿島出版会：海洋・港湾構造物 PC 構造物、1994. 3
- 3) (社) 地盤工学会：グラウンドグラウンドアンカー設計・施工例、第一回改訂版、2004. 12

(2007.629 受付)

## Earthquake reinforcement by ground anchor method for steel sheet pile revetment

Yoshihiro Kandatsu and Osamu Kiyomiya

Validity of anchor reinforcement to steel sheet pile style revetment on the both liquefaction ground and non-liquefaction ground is studied. FLIP is adopted on the liquefaction ground and TDAP is also adopted on the non-liquefaction ground, respectively. As a result, on the non-liquefaction ground, it was more effective when an anchor head was positioned in an upper position. The horizontal revetment displacement was decreased as the number of the anchors increased, but the effect was not big. On the other hand, on the liquefaction ground, regardless of height of anchor head, resultant horizontal displacement was almost constant. But effect by an anchor appeared more greatly when number of anchors increases.