

## 岸壁・護岸の耐震補強工法用グラウンドアンカーの地震時の挙動に関する模型実験

### Experimental Studies on Ground Anchor for Seismic Reinforcement of Quay during Earthquakes

竹家宏治 Kouji TAKEYA (株)エスイー  
清宮理 Osamu KIYOMIYA (早稲田大学大学院)

グラウンドアンカーによる耐震補強効果, およびグラウンドアンカーの耐震性を検証する目的で, ケーソン岸壁を想定した遠心模型実験とアンカーの繰返し載荷試験, 衝撃荷重載荷試験を実施した. その結果, グラウンドアンカーの緊張力によって, 岸壁の地震時残留変位をアンカー無しと比較して 70%程度に抑制できること, および, グラウンドアンカーの構造を, 頭部はナット定着方式, アンカー体部の支持方式を摩擦圧縮方式とすることにより, グラウンドアンカーの耐震性を確保することが出来ることを確認した.

キーワード: グラウンドアンカー, 耐震補強, 岸壁 (IGC: H-7, K-14)

#### 1. はじめに

グラウンドアンカーは, 斜面や擁壁の安定などの目的で幅広く使用されているが, 近年では構造物への耐震補強効果を期待して, 橋台やケーソン岸壁などの抗土圧構造物への使用実績が増加している. これまで, グラウンドアンカーによる鋼矢板岸壁の耐震補強効果を, 有限要素法で検証した事例<sup>1)</sup>や, 模型振動台実験および二次元有効応力解析により検証した事例<sup>2)</sup>があるほか, 新潟県中越沖地震において, グラウンドアンカーで補強した橋脚の耐震補強効果が確認された事例などがある. しかし, グラウンドアンカーの地震時の挙動については, まだ十分に解明されているとはいえない. 特に, ①グラウンドアンカーによる護岸の変形抑制効果, ②アンカー体部の地震時の繰返し荷重による定着機構, ③地震時の衝撃的荷重によるアンカー頭部の定着性能などの知見が十分ではない.

今回, これらグラウンドアンカーによる構造物の耐震補強効果および耐震性について, 実験によって確認できた内容について報告する.

#### 2. グラウンドアンカーによる港湾構造物の耐震補強

##### 2.1 工法の概要

グラウンドアンカーは, 地中に造成するアンカー体と構造物を引張材で連結して, 構造物にプレストレス力を与える工法で, 地すべりや斜面崩壊対策, 斜面の急勾配化の工法として多くの実績がある. 図-1 にアンカー工の概要図を示す.

港湾施設では, 主に重力式岸壁のケーソン岸壁や鋼矢板式岸壁の耐震などの補強工法として実績があり, 港湾分野

での従来の他の補強工法と比べて, 施工に必要な面積が小さく, エプロン等に施工範囲が及ばないため, 既存施設に対する影響を最小限に抑えることができる. したがって, 港湾の施設を供用しながら耐震化などの補強工事が可能で, 条件によっては, 工期短縮や工事費縮減などの効果が期待される. 図-2 に矢板式岸壁への適用イメージ, 図-3 にケーソン岸壁への適用イメージを示す.

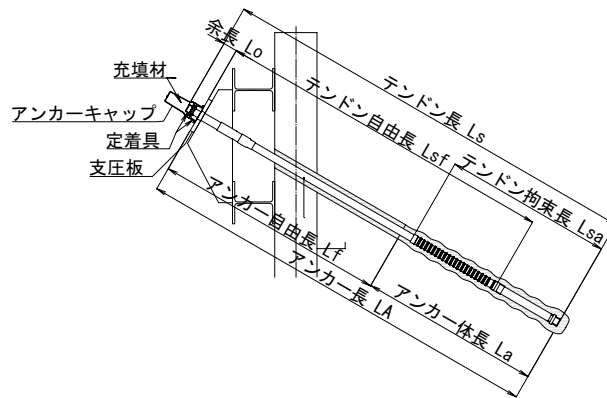


図-1 アンカー工の概要図

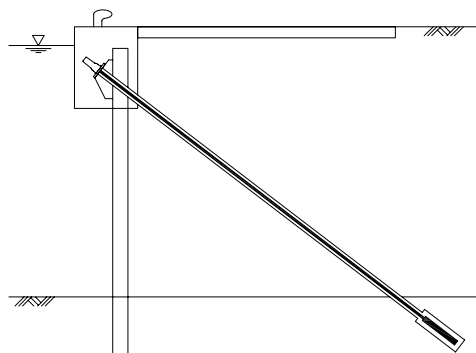


図-2 矢板式岸壁への適用イメージ

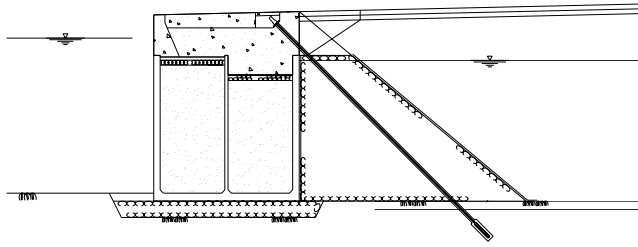


図-3 ケーソン岸壁への適用イメージ

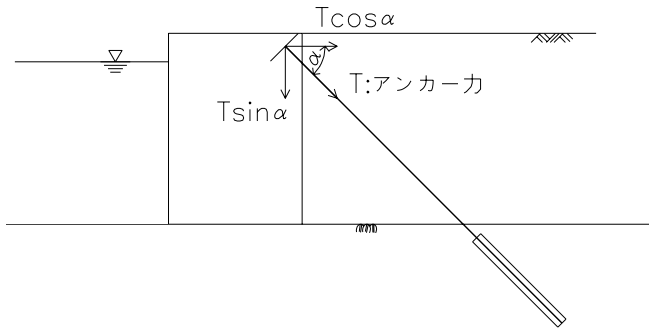


図-4 アンカーの補強効果

## 2.2 アンカーによる補強効果の考え方

### ①永続状態，レベル1地震動に関する変動状態

ケーソンなど重力式岸壁の場合，アンカーを斜めに配置するとき，アンカー力を $T$ ，アンカー傾角を水平から下向きに $\alpha$ 度とすると，図-4に示すように，アンカー力は水平成分( $T \cos \alpha$ )と鉛直成分( $T \sin \alpha$ )に分けられ，それぞれの成分が構造物の安定化に寄与する(表-1)．これらのアンカーによる補強効果を考慮して，壁体の滑動および転倒等について照査を行う．

矢板式岸壁の場合は，控え矢板式係船岸のタイ材取付点反力の算出方法と同様に，アンカーの打設位置を決めて，その位置での取付点反力をアンカーにより負担するとして，必要なアンカー荷重を算出する．

### ②レベル2地震動

重力式岸壁および矢板式岸壁のレベル2地震動に対する耐震性能は，動的解析によって変形量等について照査を行う．しかし，グラウンドアンカーにより耐震補強を行うことで，変形量をどの程度抑制できるかを確認した事例が少ないのが現状である．

## 2.3 アンカーの頭部定着方式

アンカー頭部は，引張力を構造物に伝達させるため，あるいは構造物からの力を引張力として引張部に伝達させるための部材で，テンドンの定着具とこれを支えて荷重を構造物に伝達する支圧板から構成される．定着具はテンドンの破断強度以上のものを使用する．定着方式にはナット定着方式とくさび定着方式がある．アンカー頭部定着方式

表-1 アンカー力の成分と効果

アンカー力の種類	算式	効果
アンカー力の水平成分	$T \cos \alpha$	土圧・水圧・水平地震動に抵抗する効果
アンカー力の鉛直成分	$T \sin \alpha$	構造物の自重を増加させて滑動抵抗力を増大させる効果、転倒の抵抗力を増大させる効果

表-2 アンカー頭部定着方式の比較

ナット定着方式	くさび定着方式
引張材に取り付けたねじ切りスリーブ(マンション)にナットをねじ込むことにより定着する	アンカーヘッドのテーパ孔に引張材を通してくさびを取り付け、くさびの歯が引張材に噛み込むことにより定着する

表-3 アンカー体支持方式の比較

圧縮型	引張型
アンカー引張力は、アンカーテンドン先端定着体から地表面側に向かって圧縮力として作用させ、アンカー体グラウトには圧縮応力が発生する。	アンカー引張力は、アンカーテンドン定着体の緊張端側から内部グラウトを介して地表面側に向かって引張力を作用させ、アンカー体グラウトには引張力が発生する。

の比較を表-2に示す。

岩手・宮城内陸地震等で，斜面に使用されたグラウンドアンカーの一部で頭部定着部よりPC鋼より線が抜出す現象が見られ<sup>3)</sup>，頭部の定着の確実性が耐震性能上求められている。

## 2.4 アンカー体支持方式

アンカー体の支持方式には，アンカー体グラウトに圧縮力を作用させる摩擦圧縮型と，引張力を作用させる摩擦引張型がある(表-3)。

アンカー体の支持方式は，従来の許容応力度法では，安全率による耐荷力の低減により安全性を確保している．一方，新しい耐震設計法は，動的非線形解析によって構造物の安全性を照査することとなっており，支持方式の繰返し荷重下の挙動の把握が重要となっている。

### 3. 遠心模型実験

#### 3.1 実験概要

重力式構造物（ケーソン岸壁）に対するアンカー工による耐震補強効果を確認するために、遠心模型実験を実施した。模型の試験前および試験後の状況を写真-1～写真-4に示す。なお、この実験は、アンカーによって耐震補強された実物のケーソン岸壁をモデルにして、寸法等を合わせて実施した。

##### ①実験方法

- ・実験は、図-5に示す模型を用いて、40Gの遠心場で行った。
- ・アンカーは、実物スケールで $\phi=60\text{mm}$ となるステンレス製ワイヤを用いて、下端は型枠に固定した。アンカーはケーソン上部に4箇所設置した。
- ・ケーソンは、モルタル製の中実で作製し、単位体積重量を $\gamma=22.0\text{ kN/m}^3$ とした。また、実物スケールでは、高さ8.0m、幅4.8m、奥行き11.8mとした。
- ・実際には、支持地盤のせん断変形等の影響を受けるが、今回は、地震時土圧と慣性力に伴うケーソンの滑動・転倒の挙動に着目するため、単純化のため基盤を剛とした。
- ・地盤は、豊浦珪砂とカオリン粘土を9:1で混合した材料を使用し、単位体積重量を $\gamma=17.7\text{ kN/m}^3$ 、強度定数を $c=10.9\text{ kN/m}^2$ 、 $\phi=35.8^\circ$ とした。
- ・入力波形は、実物換算で周波数 $f=1.5\text{ Hz}$ 、目標最大加速度振幅 $\alpha=470\text{ gal}$ 、主要動の3波を正弦波として与えた。

##### ②計測項目

- ・計測項目は、変位、加速度、荷重である。
- ・ケーソンの変位を水平方向で2箇所、ケーソン背後地盤の沈下を1箇所で測定した。
- ・アンカー荷重は、アンカー頭部に荷重計を取付けて計測した。頭部のねじの回転により緊張力を調整して、4本のアンカー荷重をほぼ同じにして試験を実施した。
- ・加速度計はケーソン上部に2箇所取付けた。
- ・写真1～写真4に示すように、試験体側面にターゲットを格子状に設置して地盤の挙動を調べる。これにより、ケーソンの水平方向の移動とロッキング現象を確認することが出来る。

#### 3.2 実験ケース

実験は、耐震補強工法としての効果を確認するために、アンカーなしとアンカーありのケースについて実施した。また、アンカーありのケースについては初期緊張力を殆ど導入しない(実物換算で31kN程度)ケースと、モデルケースの地震時設計アンカー力の約20%に相当する荷重(157kN程度)与えたケースについて実験を行った(表-4)。



写真-1 アンカー無しの試験前状況

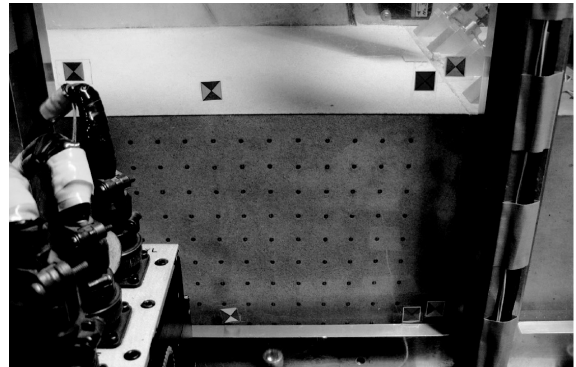


写真-2 アンカーありの試験前状況

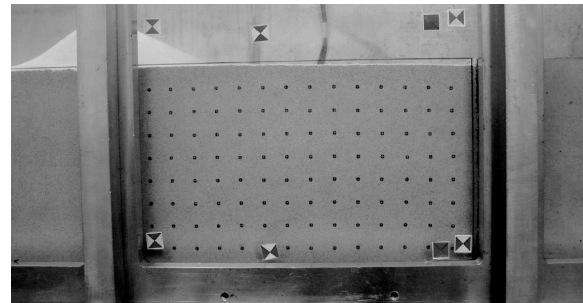


写真-3 試験後のケーソン背後地盤の変位  
(アンカー無し)

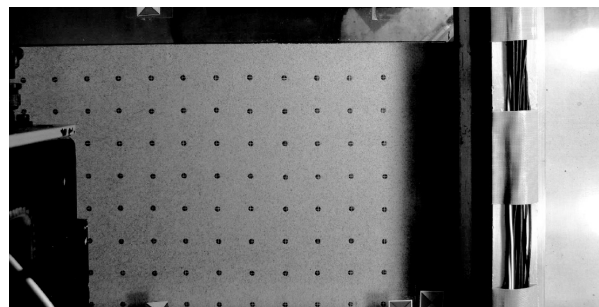


写真-4 試験後のケーソン背後地盤の変位  
(アンカーあり (157kN))

表-4 実験ケースと結果

ケース		ケーソン 最大水平変位量 mm
アンカーなし		-33.5
アンカーあり	初期緊張力 31kN	-42.4
	初期緊張力 157kN	-23.0

(マイナスが前面への変位を示す)

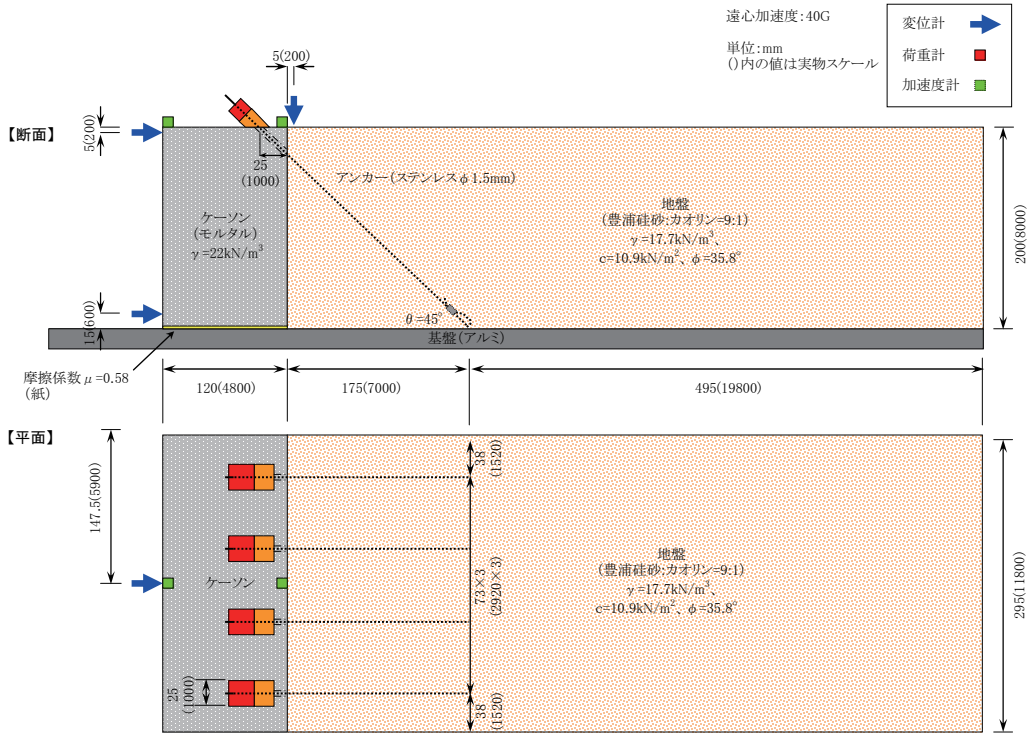


図-5 遠心模型実験概要図

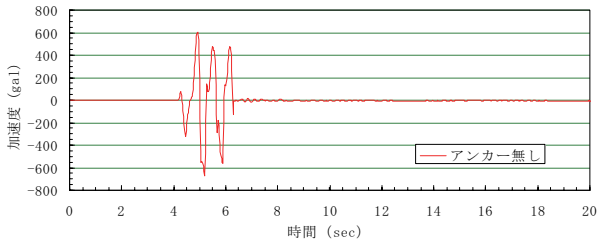


図-6 ケースンの応答加速度 (アンカー無し)

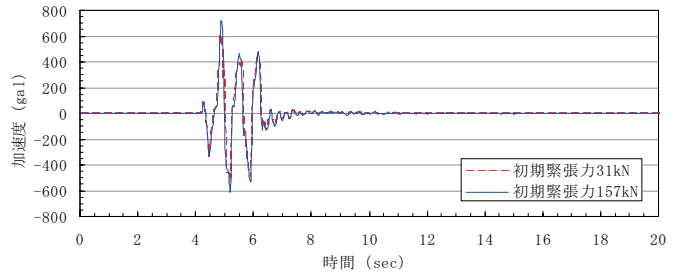


図-8 ケースンの応答加速度 (アンカーあり)

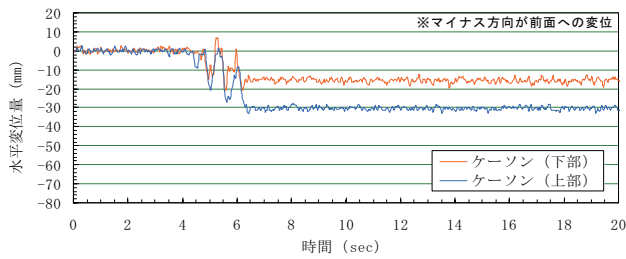


図-7 ケースンの水平変位 (アンカー無し)

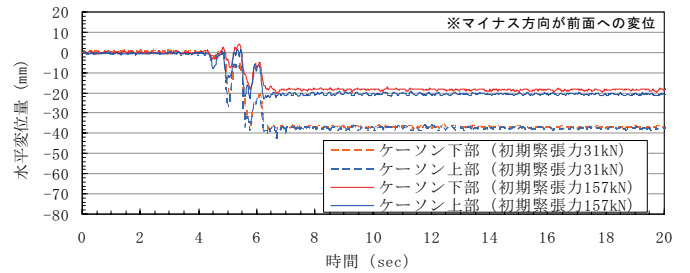
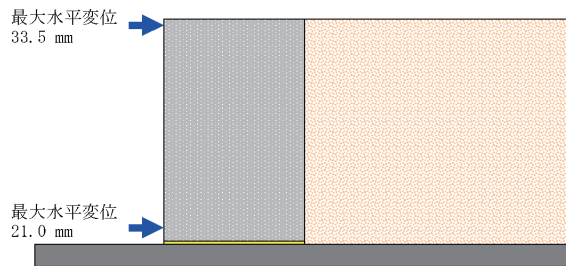
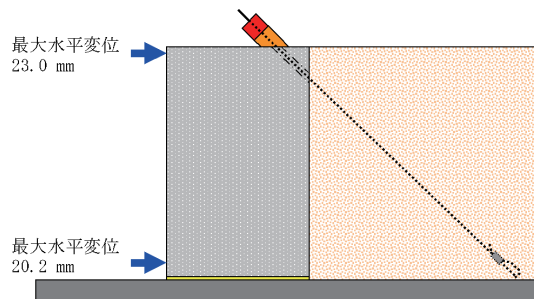


図-9 ケースンの水平変位 (アンカーあり)



(a) アンカー無し



(b) アンカーあり (157kN)

図-10 アンカーによる水平変位・転倒抑制効果

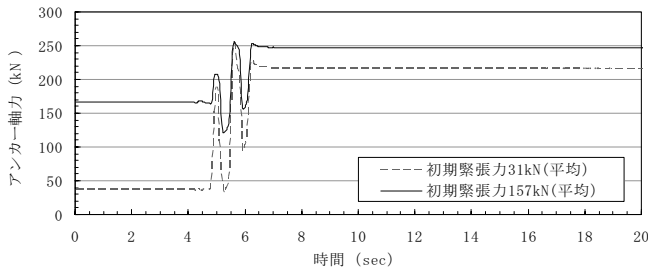


図-11 アンカーの軸力

### 3.3 実験結果

#### ①試験後の供試体

アンカー無しの試験後の供試体の状況を写真-3 に、アンカーあり(初期緊張力 157kN)の試験後の供試体の状況を写真-4 に示す。アンカー無しの場合、ケーソンが前面に変位したことにより、背面地盤に沈下が確認できる。一方、アンカーありの場合、アンカー無しに比べて背面地盤の変位が小さいことが確認できる。

#### ②ケーソン上部の水平変位

アンカー無しのケースについて、図-6 にケーソンの応答加速度の履歴、図-7 にケーソンの水平変位を示す。また、アンカーありのケースについて、図-8 にケーソンの応答加速度の履歴、図-9 にケーソンの水平変位を示す。

ケーソンの水平変位は、アンカー無しのケースでは、上部の最大変位が 33.5mm となったのに対して、アンカーあり(157kN)のケースでは 23.0mm であり、約 70%に低減された。なお、アンカー無しのケースと比べてアンカーあり(31kN)の方が、最大水平変位が大きくなっている。これは、基盤を剛としたことにより、アンカーに緊張力を与えるとケーソンがわずかに傾いて、底板の摩擦抵抗が低減されたことによる、モデル作成方法の影響と考える。しかし、アンカーあり(157kN)では、アンカー無しとアンカーあり(31kN)のケースと比べて水平変位が低減されることから、モデル作成方法の影響を考慮しても、アンカーに一定の初期緊張力を与えることによって、変位抑制効果があると判断できる。

#### ③ケーソンの上部と下部の水平変位

図-7 では、ケーソン上部と下部の水平変位量に大きな差があり、下部の最大水平変位 21.0mm に対して上部では 33.5mm となり、ロッキングが見られるのに対して、図-9 のアンカーあり(157kN)のケースでは、ケーソンの上部と下部で水平変位量の差はほとんどないことが確認できる。アンカーを設置して初期緊張力を与えることによって、転倒を防止する効果が大きいことがわかる(図-10)。

#### ④アンカー荷重(軸力)

図-11 にアンカー荷重(4本の最大値)の履歴を示す。初期緊張力が小さいケースのほうが荷重の増加量が多い。荷重増加量に比例してアンカー材の伸び量が大きくなることから、ケーソンの最大水平変位を低減させるためには、初期緊張力を大きくすることが有効である。

## 4. アンカーの繰返し載荷試験<sup>5)</sup>

### 4.1 試験概要

模型地盤は、53cm×53cm×47cm の鋼製土槽を使用した。土槽内部中央には、削孔を想定して外径 55mm のボイド管を設置し、その周りに模擬地盤としてソイルセメントを打設する。ソイルセメント養生後にボイド管を取り除き、その中にグラウンドアンカーの模型を設置し、孔内にセメントミルクを流し込むことにより供試体を作成する。写真-5 に模擬地盤を、模擬地盤およびセメントミルクの配合を表-5 に示す。

アンカーの引張材として、φ9.5mm の PC 鋼より線(引張荷重  $T_{us}=102kN$  以上)を使用する。アンカー材は、PC 鋼より線を直接グラウトに付着させる引張型アンカーと、アンカー材の先端にマンションと拘束具を設置する圧縮型アンカーの 2 種類を作成した。アンカー材には、鋼材のひずみを測定するためのひずみゲージを貼り付けた。アンカー材とゲージ取り付け位置を示す概要図を図-11 と図-12 に示す。

### 4.2 試験方法

250kN 精密万能試験機によって、アンカー材に荷重を載荷した。実験装置の概要を図-13 と写真-6 に示す。地盤強度や載荷方法の違いにより、Case1～Case3 までの実験を行った。それぞれの載荷方法と地盤強度を表-6 に示す。Case1 と Case2 はどちらも単調載荷で、地盤強度が異なる。Case3 では、Case2 と同程度の地盤強度で、載荷方法を 1 サイクル約 3 分の低サイクル載荷(想定した引抜き荷重付近までの載荷を約 50 回繰り返す)とした。全てのケースで引抜きまで載荷した。

### 4.3 試験結果

#### ①引抜き耐力

表-6 によると、Case1 の地盤の一軸圧縮強度はおおよそ  $1N/mm^2$  であるが、これは土丹・軟岩の一般的な値と一致する。なお、土丹・軟岩におけるグラウンドアンカーのアンカー体極限周面摩擦抵抗値の一般的な値は、 $\tau=0.6\sim 1.5N/mm^2$  である。

今回の試験最大荷重から極限周面摩擦抵抗( $\tau$ )値を算出すると、圧縮型では、Case1～3 の順で、 $\tau=0.47N/mm^2$ 、 $0.23N/mm^2$ 、 $0.23N/mm^2$ 、同様に引張型は、 $\tau=0.21N/mm^2$ 、 $0.21N/mm^2$ 、 $0.22N/mm^2$  となる。なお、引張型の Case1 はグラウトとアンカー材の付着切れが生じたものである。

「グラウンドアンカー設計・施工基準、同解説」<sup>4)</sup>に示されている地盤の種類と  $\tau$  値の関係から推定すると、Case1 の地盤は土丹、Case2,3 は砂質土 N 値 20～30 に相当する。

Case2 と 3 の試験最大荷重の比較から、 $\tau$  値が小さい地盤(非岩盤相当)に定着したアンカーにおいても、繰返し荷重による耐力低下は見られない。

表-5 模擬地盤およびセメントミルクの配合

	模擬地盤(0)内はケース2以降		セメントミルク	
	1体当たり配合	8号珪砂	152.9(161.4) kg	早強セメント
	早強セメント	6.91(8.49) kg	水道水	681 g
	水道水	67.92 kg		



写真-5 模擬地盤

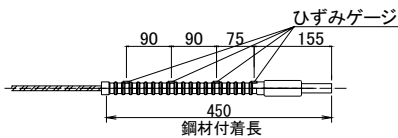


図-11 圧縮型アンカー供試体

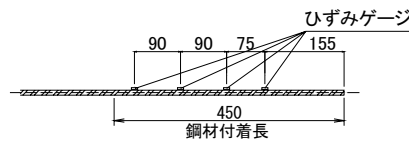


図-12 引張型アンカー供試体

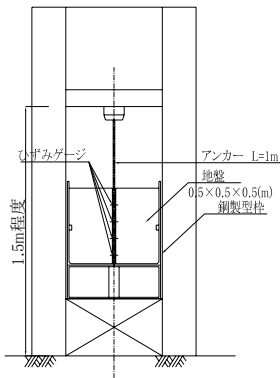


図-13 試験装置



写真-6 試験装置

表-6 実験ケースの概要

	载荷方法	地盤の一軸圧縮強度(N/mm <sup>2</sup> )		試験最大荷重(kN)	
		圧縮型	引張型	圧縮型	引張型
Case1	単調载荷	1.09	1.53	36.26	16.06
Case2	単調载荷	0.25	0.29	17.84	16.11
Case3	低サイクル载荷	0.26	0.23	17.82	16.91

②引抜け時のアンカー体の状況

Case2 と Case3 においては、圧縮型と引張型のどちらも、アンカー体グラウトと地盤の間の周面摩擦抵抗が限界に達したことにより引抜けに至った。

引抜き耐力が極限に達した後、アンカー体を模擬地盤から完全に引抜けるまで変位を与えて、引抜け後のアンカー体を目視により確認した。圧縮型アンカーのアンカー体

(写真-7) はグラウトに亀裂や破壊が見られず、健全であることが確認できたが、引張型アンカーのアンカー体(写真-8)は、自由長部との境界付近のグラウトに亀裂が確認されたほか、グラウトとアンカー材に付着切れが生じた痕跡が確認された。

③ひずみ分布(圧縮型)

各ケースの荷重-変位量曲線を図-14 に示す。各ケースとも、初期荷重から引き抜け荷重までほぼ弾性的な挙動を示す。Case1 の最大荷重は Case2 や Case3 と比べて約 2 倍程度で、アンカー耐力は地盤強度に影響される。

各ケースの最大荷重付近のアンカー材ひずみ分布を図-15 に示す。「-」は圧縮ひずみを示す。各ケースとも深部は圧縮ひずみが大きく、地盤表面に向かってゼロに収束する。Case1 の最大ひずみは 156μ であるが、グラウトの弾性係数を  $E_c=3313\text{N/mm}^2$  (試験値) とすると、グラウトの圧縮応力は  $f'_c=0.52\text{N/mm}^2$  となり、グラウトの圧縮強度  $f'_{ck}=33\text{N/mm}^2$  の 15% 程度であった。

④ひずみ分布(引張型)

各ケースの荷重-変位量曲線を図-16 に示す。Case1 では 14.5kN (変位 3.3mm) をピークにして荷重は約 20% 低下する。その後変位を増加させると、荷重は再び増加を始め、20.7mm で最大荷重 16.06kN となる。Case2 と Case3 では、 $P=5\text{kN}$  付近から勾配が緩くなり、最大荷重時の変位は、Case2 で 5.9mm、Case3 で 5.6mm を示し、Case1 の初期ピーク荷重時の変位(3.3mm)と比べて大きい。

各ケースの最大荷重付近のアンカー材ひずみ分布を図-17 に示す。Case1 では深度 295mm と 220mm のひずみはほぼゼロとなっているが、Case2 では深度 220mm までひずみが伝達され、Case3 では深度 295mm までひずみ発生域が拡大している。さらに、各ケースにおいて、式(1),(2) に示すように、ひずみから二点間の付着応力度を算出して、その最大値の変化を見ると、Case1 の  $\tau_{\max}=3.1\text{N/mm}^2$  から、case3 では  $\tau_{\max}=1.3\text{N/mm}^2$  まで、約 40% に低下している(表-7)。これは、繰返し荷重による付着応力低下の現象であると推察できる。

$$T_i = A \times E \times \epsilon_i \quad (1)$$

$$\tau_{i,i-1} = \frac{T_i - T_{i-1}}{\pi \times D \times \ell_{i,i-1}} \quad (2)$$

- $\tau$  : アンカーとグラウトの付着応力度
- $T$  : アンカー軸力
- $D$  : アンカー材径
- $\ell$  : 2 測点間の距離

また、Case3 の最大引張ひずみ 1761μ からグラウトの引張応力を算出すると  $f_t=5.83\text{N/mm}^2$  となり、グラウトの引張強度 ( $f_{tk}=0.23f'_{ck(23)}=2.36\text{N/mm}^2$ ) より大きい。引張強度相当のひずみより大きな値が計測されているが、これは、引張り亀裂の発生を示すものであると推定できる。



写真-7 圧縮型の試験後のアンカー体

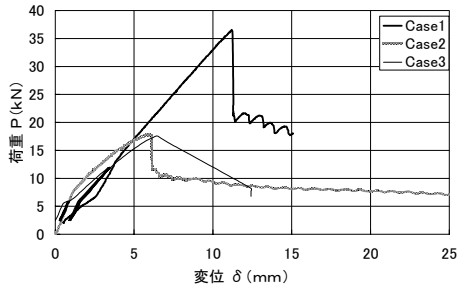


図-14 各ケースの荷重-変位曲線（圧縮型）

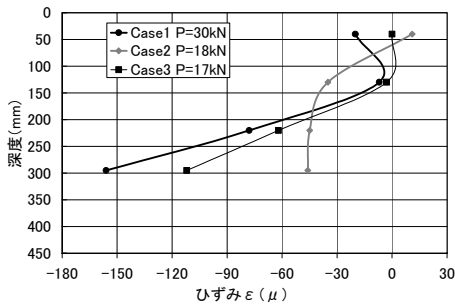


図-15 各ケースのひずみ分布（圧縮型）

ることが多いため、基礎地盤の特性によっては、構造物の



写真-8 引張型の試験後のアンカー一体

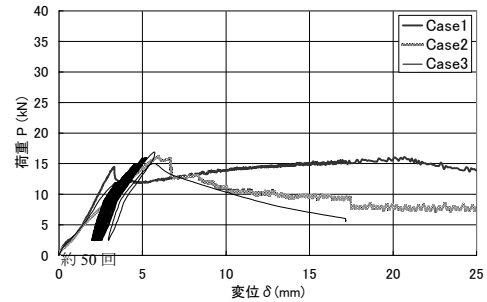


図-16 各ケースの荷重-変位曲線（引張型）

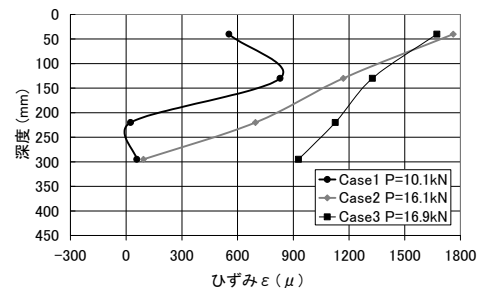


図-17 各ケースのひずみ分布（引張型）

## 5. 衝撃荷重荷試験

### 5.1 試験目的

グラウンドアンカーは、斜面においては無対策の斜面に比べて地震時の斜面変状を抑制する効果が確認されている一方で、地震時の衝撃力による頭部の破損、くさびの逸脱が確認されている。

本試験では、地震時にアンカー頭部に衝撃荷重が作用すると仮定し、室内において重錘の落下試験により、衝撃荷重を受けたときのアンカー頭部の定着性能について、ナット定着とくさび定着の2種類の定着性能の比較を行なう。

### 5.2 試験方法

試験架台にφ12.7mmのPC鋼より線を設置して、緊張力を導入して定着させる。上部より重錘を落下させて、衝撃伝達治具を介して衝撃力を定着部に与える。定着部をくさび定着とナット定着の2種類として、重錘を3回落下させたときの、導入荷重からの荷重の変化を荷重計により調べることで、定着性能を評価する。

耐震補強としてアンカー工法が採用される場合、常時の定着荷重は地震時の設計荷重の20%程度と低く設定され

表-7 各ケースの付着応力度の最大値の比較（引張型）

	Case1	Case2	Case3
最大付着応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	3.1	2.8	1.3

慣性力によってアンカー頭部に衝撃的な荷重が作用することも想定される。この試験は、アンカーが衝撃荷重を受けた場合の定着具の性能について、定性的な評価を行うものである。

重錘は45kgで、中央に孔を開けたドーナツ形状として、中央の孔にPC鋼より線が通るように設置して落下させる。図-18に試験装置図を示す。

### 5.3 試験結果

落下高さ90cmの場合の試験結果について、重錘落下の影響による緊張力の推移を表-8に示す。試験により、以下のことが確認できた。

- ・ナット定着方式は、くさび定着方式に比べて荷重低下量が小さいこと
- ・くさび定着方式は、荷重低下が継続すること

## 6. まとめ

遠心模型実験、繰り返し載荷試験および衝撃荷重載荷試験により、以下の結論を得た。

- (1) 遠心模型実験の結果から、グラウンドアンカーは、岸壁地震時の変位を抑制する効果があり、モデル岸壁の地震時の設計アンカー力の20%程度を初期緊張力として付与すると、アンカー無しに比べて地震時変位量を70%程度に低減できた。
- (2) 模型試験によると、地中のアンカー体が繰り返し荷重を受けると、引張型アンカーでは付着応力低下の現象が確認できた。
- (3) 衝撃荷重載荷試験の結果から、アンカー頭部の定着部が衝撃荷重を受けると、くさび定着方式ではすべりの現象が確認された。ただし、現時点では、アンカー頭部に作用する慣性力や作用時間などを考慮した定量的な評価には至っていない。

以上の実験により、グラウンドアンカーには、岸壁・護岸の地震時変位量を抑制する性能があり、その性能を確保するためには、アンカー体の支持方式は摩擦圧縮型、頭部定着方式はナット定着の方が有利であるとの知見を得た。

### 謝辞

遠心模型実験の実施において、日本工営株式会社中央研究所地盤材料グループの皆様にご多大なご協力を頂きました。また、アンカーの繰り返し載荷試験については、東亜建設工業株式会社技術研究開発センター地盤・防災技術グループの皆様にご多大なご協力をいただきました。さらに、全般にわたって、早稲田大学理工学部安同祥氏を始め清宮研究室の皆様にご多大なご協力および貴重なアドバイスを頂きました。ここに記して感謝の意を表します。

### 参考文献

- 1) 神立佳広,清宮理: グラウンドアンカー工法による鋼矢板式護岸の耐震補強効果,土木学会第61回年次学術講演会講演概要集,6-221,2006.
- 2) 三好俊康,田代聡一,小竹望,清宮理: グラウンドアンカーで補強された鋼矢板式岸壁の振動台実験(その1: 予備実験), 第44回地盤工学研究発表会講演集,pp1073~1074,2009.
- 3) 伊藤武志,横山真至,太田親,山本彰,藤原宗一: 岩手・宮城内陸地震によるグラウンドアンカーの被害について,土木学会第64回年次学術講演会講演概要集,III-64,2009.
- 4) 地盤工学会, グラウンドアンカー設計・施工基準,同解説(JGS4101-2000),p117,2000.
- 5) 竹家宏治,清宮理,安同祥,野澤忠明: グラウンドアンカーによる構造物の耐震補強効果—その1: 要素試験一, 第43回地盤工学研究発表会講演集,pp1423~1424,2008.

(2009年6月29日 受付)

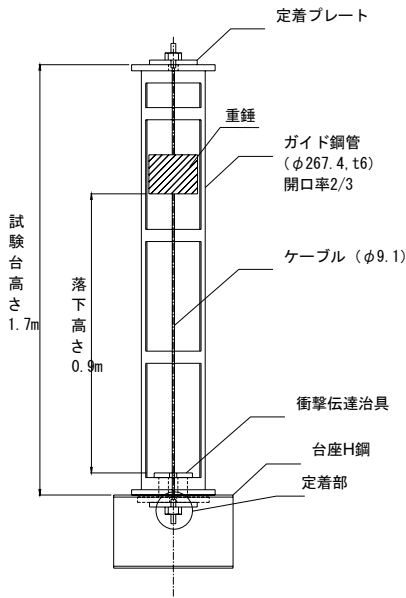


図-18 衝撃載荷試験の試験装置



写真-9 衝撃荷重載荷試験の装置

表-8 衝撃荷重載荷による荷重の推移

	初期荷重	重錘落下		
		1回目	2回目	3回目
ナット	20.9 kN (1.00)	19.3 kN (0.92)	18.7 kN (0.89)	18.3 kN (0.86)
くさび	24.8 kN (1.00)	7.9 kN (0.32)	4.7 kN (0.19)	2.5 kN (0.10)

くさび定着方式は、くさびがPC鋼より線に食い込むことによって定着される機構であることから、荷重低下は食い込み位置の移動すなわちくさびのすべり現象によって生じる。試験後のPC鋼より線を確認すると、スリップ痕が確認された(写真-9)。実際のくさび定着方式のアンカーが地震力を受けると、衝撃力の程度や、初期緊張力の大小等によっては、くさびのすべり量が大きくなり、PC鋼より線が定着部より抜出して、アンカー機能を喪失する可能性がある。

一方、ナット定着方式でもわずかな荷重低下が確認されたが、本来ナットが回転しない限り荷重低下は生じないという定着機構から判断すると、回転が確認されていない今回の実験における荷重低下の原因は、試験装置のなじみの影響であると推定できる。

以上のことから、地震力の作用が想定されるアンカーでは、ナット定着方式が有効であることが確認できた。