

岸壁基礎捨石部へのアンカー工法の適用に関する基礎的研究

Fundamental Study on the Anchor Method for Rubble Foundation of Quay Wall

植村一瑛 Kazuaki UEMURA (広島大学大学院工学研究科)
一井康二 Koji ICHII (広島大学大学院工学研究科)
四辻絵美 Emi YOTSUJI (広島市)

1995年に発生した兵庫県南部地震では、基礎地盤の液状化により多くの岸壁が被災した。その対策として岸壁の基礎地盤部や背後地盤部において締め固め等が行われ、基礎地盤の変形に伴う被災の可能性は大きく軽減されつつある。しかし、こうした地盤改良に伴い、従来では地震時の変形が観測されていない基礎捨石部の強度が相対的に低下し、大地震時には基礎捨石部が変形することで被災が発生する危険性がある。そこで本研究では、基礎捨石部を対象にした補強工法として、アンカー工法の適用性を検討することを目的とし、模型実験により、アンカー工法の施工性を検討した。また、定着効果の簡易なモデルを作成し数値解析による補強効果の検討を行った。

キーワード：アンカー工法，基礎捨石，岸壁

(IGC : E-14, H-7)

1. はじめに

1995年の兵庫県南部地震では、神戸港の岸壁が数多く被災した。岸壁の被災原因として基礎地盤の液状化が考えられている。これを教訓に、現在では岸壁の基礎地盤部や背後地盤部において締め固めなどの対策が行われることが多い。この結果、基礎地盤部の変形に伴う岸壁の被災の可能性は大きく軽減されつつある。

しかし、こうした地盤改良に伴い、従来では変形が観測されていない基礎捨石部の強度が相対的に低下し、大地震時には基礎捨石部が変形することで被災が発生する危険性が数値解析や振動実験等により明らかとなってきている。また、観測事実としても、基礎捨石の地震時変形は兵庫県南部地震において報告されている。

実施設計上は、検討すべき地震動が大きくなったことによりケーソンに作用する地震時荷重が増加しており、結果として、捨石部を含むすべり変形モードなどにより安全性を確保することが困難になる事例が大型岸壁で発生している。また、近年は船舶の大型化に伴い、既存岸壁の増深ニーズが高まっており、耐震補強以外の目的でも捨石部の補強工法は既存捨石を中心として潜在的需要が高まりつつある。そこで本研究では、従来は強度が十分にあるものとして補強工法が全く開発されていない基礎捨石部を対象とした補強工法としてアンカー工法の適用性について模型実験・数値計算により検討した。

2. 基礎捨石間隙におけるアンカー工法

2.1 概要

従来は、基礎捨石はそれ自体が改良・強化された構造であると考えられており、基礎捨石部を改良する工法は施工上の観点と波力等による飛散防止上の観点からネットなどにより捨石を包み込むような技術しか考えられていない。従って、基礎捨石部のせん断変形を防止するような技術は皆無である。しかし、ケーソン式係船岸のような構造物が地震時や大きな背後土圧の作用下で海側へ移動する際、基礎捨石下の地盤の強度が十分にある場合には、大きな水平地震力等により基礎捨石においても水平すべりを含むような変形が生じる可能性がある。そこで、新設だけでなく既設の護岸に対しても適用可能である耐震補強としてアンカー工法が提案された¹⁾。その施工後のイメージ図を図-1に示す。

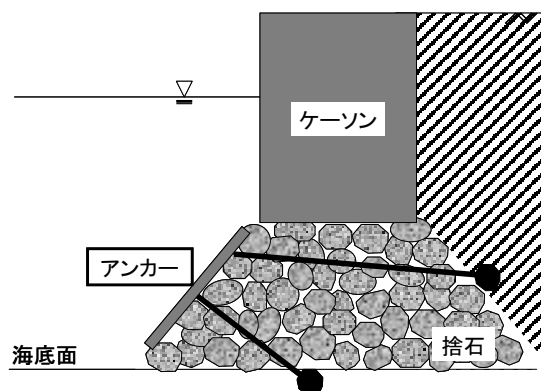


図-1 アンカーの施工イメージ¹⁾

2.2 施工方法

提案されている施工方法の概要図を図-2 に示し、各ステップにおける詳細な説明を以下に示す¹⁾。

STEP1 :

壁面前面から基礎捨石を削孔し、その孔を通じて引張強度のある中空部材を挿入する。部材先端は膨張可能な構造である。

STEP2 :

中空部材にセメントミルク等の固化剤を圧入する。この固化剤は、生成直後は流動性を有し、時間の経過により硬化する経時硬化性を有するものである。

STEP3 :

圧入の結果、中空部材の先端は強度のある大きな重量部材となり、アンカー定着機能を有する。

STEP4 :

挿入された中空部材の表面をボルト等でコンクリート版や鋼製トラス等の引抜き防止部材と結合する。

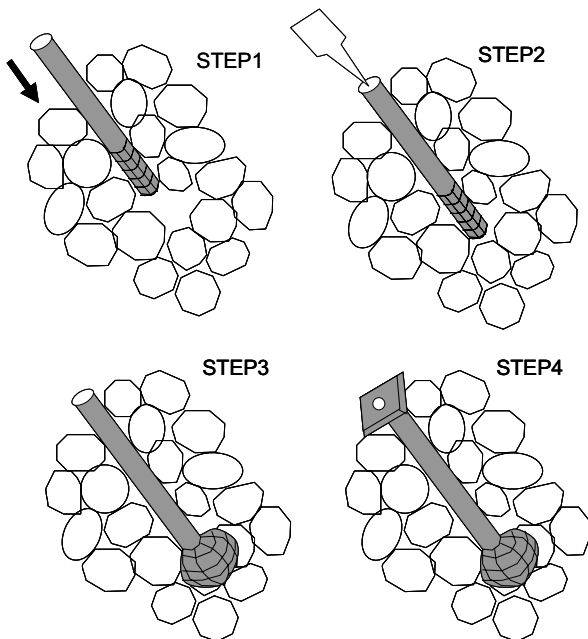


図-2 施工方法の概要図¹⁾

上記の4ステップを経ることで、水中基礎捨石部の内部に球根状のアンカーが形成され、周囲の基礎捨石が締められて強度が向上する可能性がある。また、基礎捨石のせん断面をささむように施工することで、基礎捨石内部の部材と表面の部材が引張り強度のある部材で結合され、基礎捨石に拘束効果が生まれ、基礎捨石の変形に対する抵抗力が増加する。

なお、既設基礎捨石部を対象とした上記のアンカー工法は特許として成立している¹⁾が、施工性は未検討であり実用化には至っていない。

3. 模型実験によるアンカー工法の適用性の検討

3.1 圧入実験によるアンカー先端部の膨張の可否の検討

本研究で検討している工法は、捨石を削孔してアンカーを挿入し、固化剤を圧入することでアンカー先端部を膨張させ、定着部の反力を確保するという施工方法である。よって、施工時にアンカーが膨張するか否かが補強効果に大きく影響を及ぼす。

そこで、捨石模型中に設置されたアンカーへ固化剤を圧入した場合の捨石間隙中でのアンカー先端部の膨張の可否、また、膨張した先端部の形状の把握を行った。

図-3 に実験に使用したアンカー模型の寸法および実験模型の概要図を示す。ストローを中空部材、風船をアンカー先端部用袋とし、固化剤として石膏を用いた。また、実験模型概要図におけるプラスチック板は圧入前後の砕石表面の変位を計測するためのものである。実験では、土槽(250×250×245mm)に砕石5号とアンカー模型を設置し、その後アンカー模型に固化剤を圧入した。なお、砕石の詰め方を密詰め(土槽上端から砕石を落下させたもの、間隙率 $n=0.47$ 程度)とゆる詰め(落下高さがゼロになるように砕石を落下させたもの、間隙率 $n=0.54$ 程度)の2種類で行った。また、圧入圧力は50kPa、圧入時間は20秒とした。

実験は密詰めで13回、ゆる詰めで6回行い、それぞれのケースで固化剤の注入量およびアンカー先端部の体積と最大径 ϕ_{max} を計測した。ここで、アンカー先端部の体積は固化剤の注入量より、(1)、(2)式より算定した。

$$\text{固化剤の注入体積} = \frac{\text{固化剤注入量}}{\text{固化剤の密度}} \quad (1)$$

$$\text{アンカー先端部の体積} = \text{固化剤の注入体積} - \text{ストローの体積} \quad (2)$$

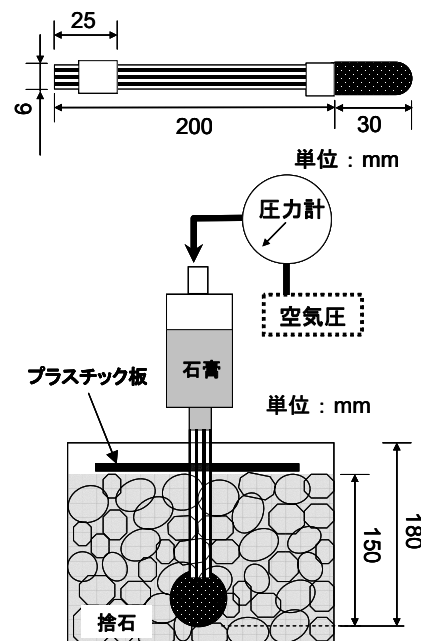


図-3 アンカー模型と実験模型概要図

その後、アンカー先端部の体積と ϕ_{max} により結果を以下のように分類した(写真-1)。

結果×：

アンカー先端部の体積が 2.44cm^3 に満たないもの

結果○：

アンカー先端部の体積が 2.44cm^3 以上のもの

結果◎：

アンカー先端部の体積が 2.44cm^3 以上、かつ ϕ_{max} が 16.7mm 以上のもの

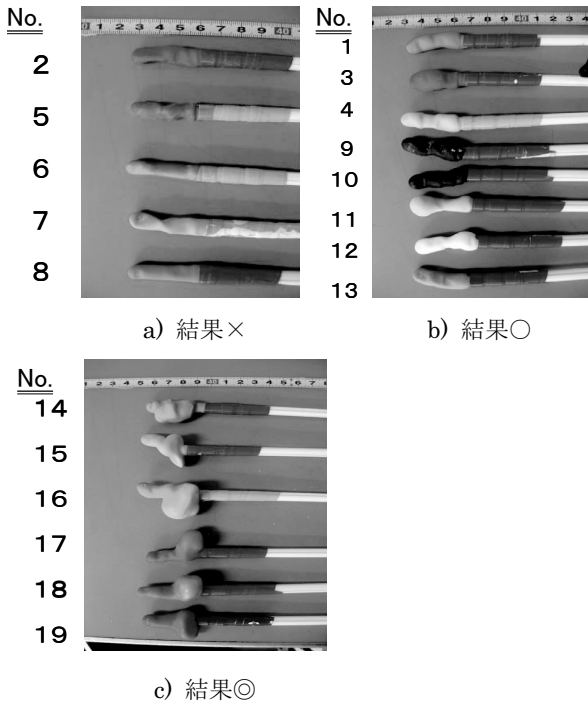


写真-1 圧入実験結果

表-1 圧入実験結果

No.	砕石の詰め方	固化剤 注入量 (g)	アンカー先端部		砕石変位 (cm)	結果 分類
			体積 (cm^3)	ϕ_{max} (cm)		
1	密詰め	10.11	2.8	9.6	0.0	○
2		9.68	2.4	8.7	0.0	×
3		11.03	3.5	12.7	0.0	○
4		9.89	2.6	10.3	0.0	○
5		9.39	2.2	8.5	0.0	×
6		8.65	1.7	6.5	0.0	×
7		8.52	1.6	8.6	0.0	×
8		9.03	1.9	7.0	0.0	×
9		10.88	3.4	11.5	0.0	○
10		9.85	2.6	9.5	0.0	○
11		10.33	2.9	12.1	0.0	○
12		10.75	3.3	10.4	0.0	○
13		10.05	2.7	9.0	0.0	○
14	ゆる詰め	13.32	5.2	18.0	0.0	◎
15		10.78	3.3	24.6	0.0	◎
16		21.69	11.6	27.1	0.0	◎
17		14.40	6.0	22.3	0.0	◎
18		15.82	7.1	21.9	0.0	◎
19		13.59	5.4	21.4	0.0	◎

表-1 に実験結果を示す。ゆる詰めの場合は、すべてのケースにおいて結果◎に分類され、密詰めの場合は結果○および結果×に分類された。砕石をゆるく詰めた場合には、砕石間の間隙が大きいので、アンカーが大きく膨張し、砕石を密に詰めた場合は、砕石間の間隙が小さく、アンカーが膨張しにくかったのだと考えられる。また、結果が○、◎のどちらの場合もアンカー模型へ固化剤を圧入したことによる砕石表面の変位は生じていなかった。つまり、アンカー模型の近傍の個々の砕石は圧入により移動するなどして一時的に安定を損なっている可能性はあるが、圧入前後での全体的な変位は生じておらず、局所的な移動で新たな安定状態に落ち着いたと考えられる。

図-4 に ϕ_{max} とその平均値を砕石の粒径加積曲線の比較を示す。結果○の平均値は砕石の粒径 D_{14} に、結果◎の平均値は砕石の粒径 D_{95} に相当する値であった。

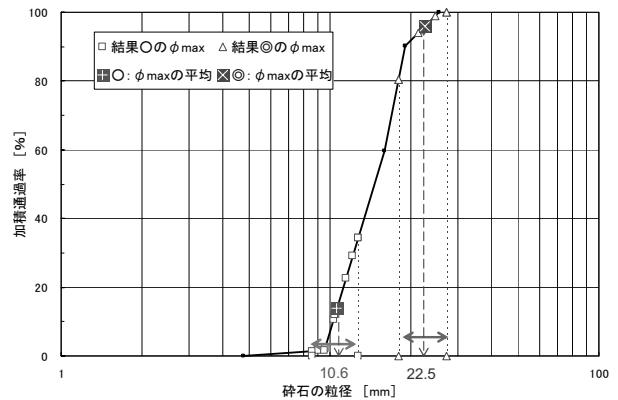


図-4 ϕ_{max} と粒径加積曲線の比較

一般に、実現現場での基礎捨石は施工時に締められていると考えられる。しかし、変形が起きる可能性が高い箇所は、ゆるい状態にあると推察される。つまり、変形が起ころうる危険箇所ほど、基礎捨石中でアンカー先端部の形状を確保することが可能であり、またアンカー打設による捨石の移動により安定状態に移行できる可能性が高いと考えられる。

なお、捨石模型の形状、圧入時間、アンカー先端部へ加わる拘束圧などによって、アンカー先端部の形状が変化することも考えられ、さらに実験パターンを増やして検証を行う必要がある。また、今回の実験では小型模型を用いて実験を実施しているため、実験結果に模型スケールの効果がある可能性があり、種々のスケールでの追加実験が必要である。ただし、捨石模型として用いた砕石は実際に用いられる捨石と類似した形状であることを確認している。

とはいえ、提案工法の実現可能性という観点では、これまでの結果から、アンカー定着部の作成が条件次第では十分に可能と判断できる。そこで次に、定着効果を引抜き実験により検討する。

3.2 引抜き実験によるアンカー定着効果の検討

一般のアンカー工法は、全く変形しない地山等に反力をとることを期待する。しかし、本研究で対象としているアンカー工法は、図-1 に示すように基礎捨石部の内陸側境界および底面境界に反力をとることを検討している。

そこで、実際に捨石模型中にアンカーを埋め込んだ後、アンカーを引抜くことにより荷重-変位曲線を作成し、アンカー先端部の定着効果の有無を検討した。

図-5 に実験に使用したアンカー模型の寸法および実験模型の概要図を示す。アンカー先端部用注入袋としてゴム手袋を使用し、固化剤は注射器を用いて注入した。ワイヤーは固化剤が固化する前に挿入し、定着させる。なお、ワイヤーは引抜き強度を与えるための部材を模擬したものである。

表-2 アンカー先端部の寸法

パターン	結果分類	圧入実験結果				アンカー先端部の寸法		
		ϕ_{max}	縦長さ	扁平率	細長率	a	b	c
A	○	10.6	-	0.89	0.38	28	11	9
B	◎	22.5	18.5	0.83	0.61	19	23	19

表-3 実験ケース

実験ケース	砕石の詰め方	アンカー先端部の寸法
Case1	密詰め	パターンA
Case2	ゆる詰め	パターンA
Case3	密詰め	パターンB
Case4	ゆる詰め	パターンB

である。本実験では、あらかじめ作成した図-5 上のようなアンカー模型を土槽に設置した後、土槽内に砕石を所定の密度になるように詰めた。その後、制御できる最も遅い変位速度である 3.5mm/s でアンカー模型を引抜いた。

実験は砕石の詰め方とアンカー先端部の寸法(表-2)を変えて、表-3 に示す 4 ケースで行った。ここで、Case1 および Case4 が圧入実験の結果と対応している。また、再現性の確認のため各ケースとも 4 回の実験を行った。

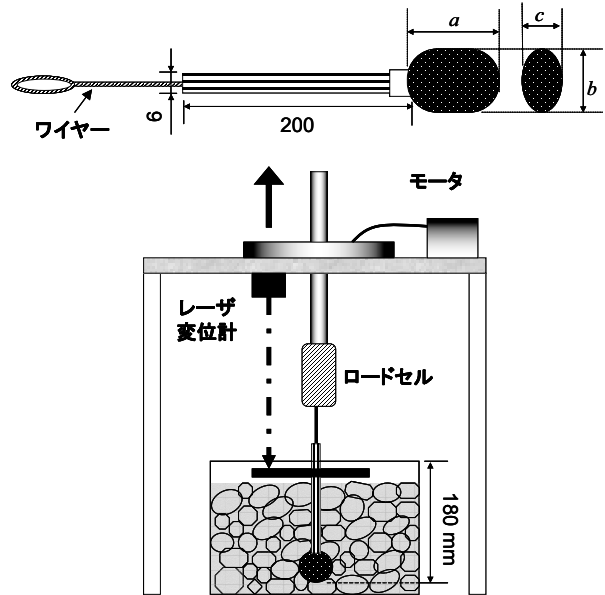
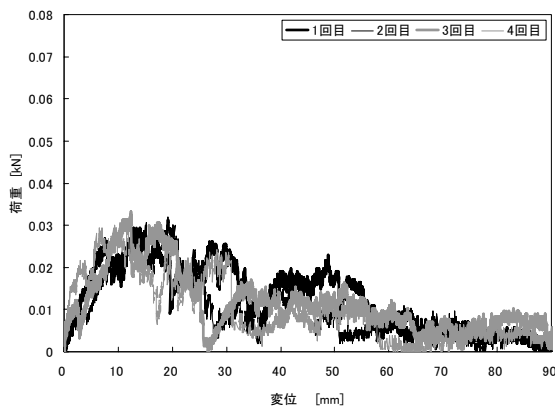
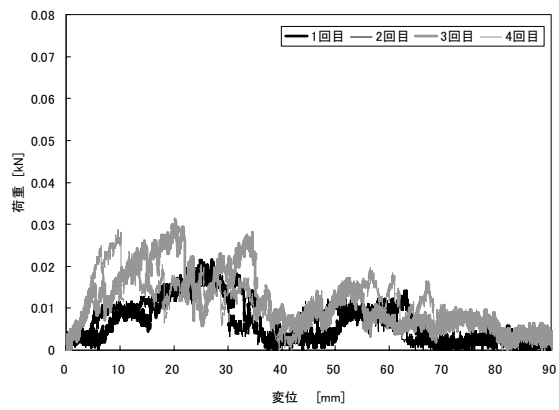


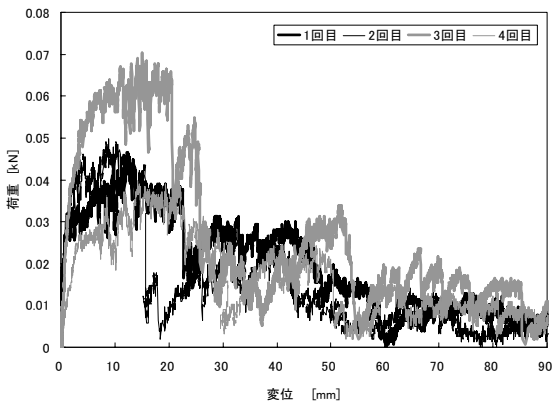
図-5 アンカー模型と実験概要図



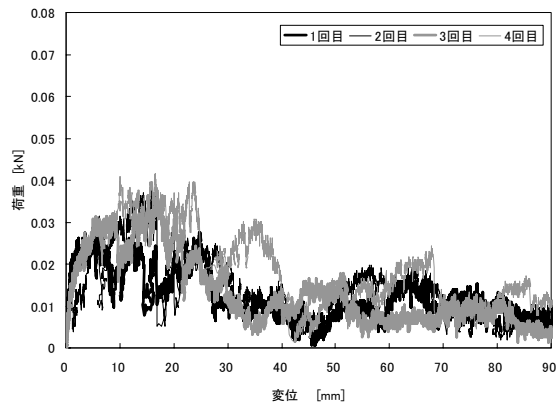
a) Case1



b) Case2



c) Case3



d) Case4

図-6 引抜き実験結果

図-6 に各ケースにおける荷重－変位曲線を示す。変位が 15 mm 程度までの引抜き初期の挙動を比較すると、Case1 と Case4 については各 4 回の実験結果がある程度同じ経路をたどっている。これは、アンカー先端部のサイズを砕石の詰め方との関係に基づいて実験結果と対応するように定義したため、砕石とアンカー先端部との噛み合いがある程度均質なためではないかと考えられる。これに対して、Case2, Case3 の場合、砕石の間隙に対してアンカー先端部の大きさがつり合っていないため、噛み合いが悪く、不規則な挙動を示したのだと考えられる。なお、アンカー引抜き後もアンカー先端の形状は変化しておらず、アンカー先端の強度は十分に大きかったことを追記しておく。

の 3 つのパラメータからなる。

それぞれのパラメータの意味は次のとおりである。

引抜き抵抗力 F_a :

最大引抜き荷重に相当する値であり、最大引抜き荷重 F_{max} の 9 割程度の値になるよう設定した。

第一基準変位 d_1 :

最大引抜き荷重が生じる変位であり、実験結果から本実験で使用した砕石の最小粒径に相当すると考えられる。本研究では最小粒径は D_{10} に相当する値とした。

第二基準変位 d_2 :

引抜き荷重が急激に低下する変位であり、実験結果から本実験で使用した砕石の最大粒径に相当すると考えられる。本研究では最大粒径は D_{90} に相当する値とした。

4. アンカーのモデル化

4.1 荷重－変位曲線の簡易モデル

引抜き実験のケースの内、より現実に近い状態を表していると考えられる Case1 および Case4 の場合について荷重－変位曲線のモデル化を行った。

Case1 と Case4 の実験結果から、図-7 に示すように荷重－変位曲線をモデル化する。モデルはバイリニアを基本とし、引抜き抵抗力 F_a 、第一基準変位 d_1 、第二基準変位 d_2

4.2 引抜き形態のモデル化と引抜き抵抗力 F_a の算定

図-7 で示した引抜き抵抗力 F_a を引抜き形態をモデル化することにより算出する。そのモデルを図-8 に示す。

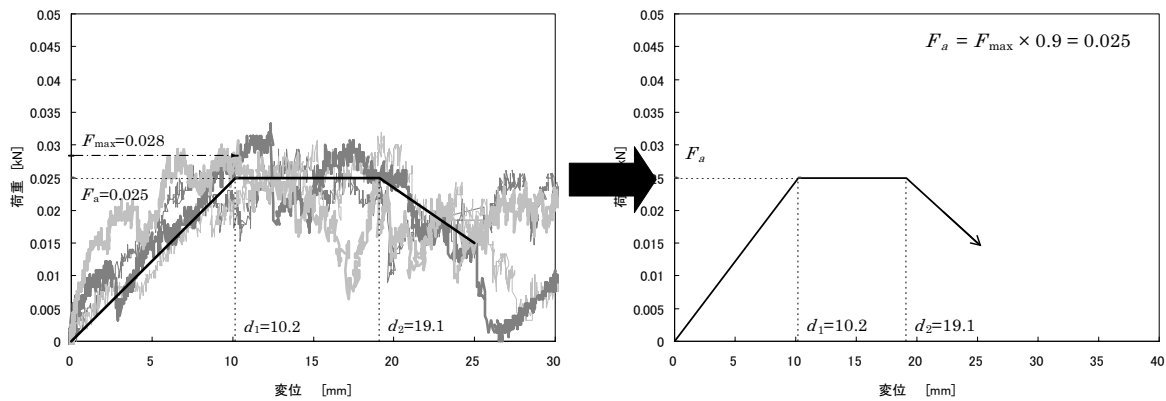
図-8 右図に示した微小要素を考え、すべり面の抵抗力 ΔS を求め、力のつり合いから F_a を求める。

z 軸方向の力のつりあいから、

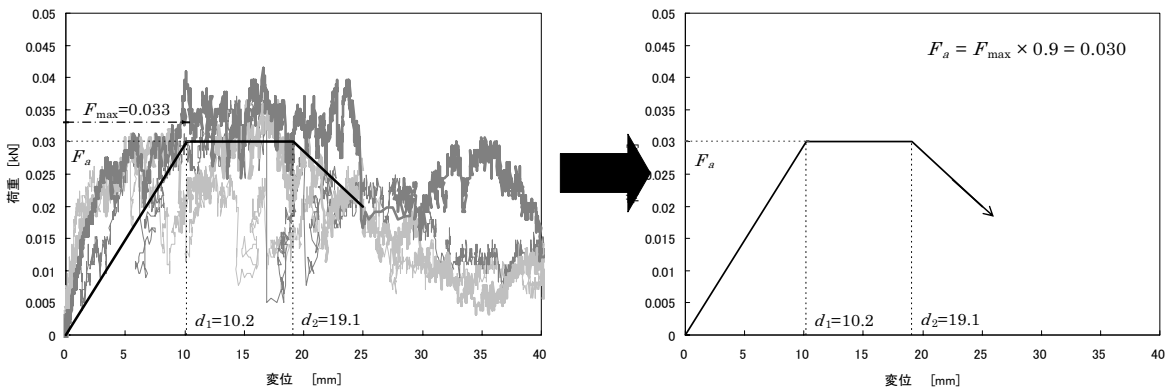
$$F_a = \sum \Delta W - (\sum \Delta T \sin \theta - \sum \Delta S \cos \theta) \quad (3)$$

$$= \sum \Delta W - \int_0^H \int_0^{2\pi} \{ra + (H-z) \tan \theta\} (\Delta T \sin \theta - \Delta S \cos \theta) d\gamma dz$$

ここで、 ΔT は未知数であるため下記の条件を考慮し、式(4)のように仮定した。



a) Case1



b) Case4

図-7 荷重－変位曲線のモデル化

$$\begin{cases} \theta = \frac{\pi}{2} \text{ のとき} & \Delta T \rightarrow \infty \\ \theta = 0 \text{ のとき} & \Delta T = K_0 \gamma_s z \quad (\text{静止摩擦係数 } K_0 = 0.5) \end{cases}$$

なので、

$$\begin{aligned} \Delta T &= K_0 \gamma_s z + \Delta W_2 \sin \theta \\ &= \gamma_s z (K_0 + \sin \theta) \end{aligned} \quad (4)$$

また、 ΔS は $\tau = c + \sigma \tan \phi$ より、砕石の粘着力 c を 0 とすると、式(5)のように表すことができる。

$$\Delta S = \Delta T \tan \phi \quad (5)$$

ここで、記号の意味は下記の通りである。

ΔW : 単位長さあたりの砕石の自重

ΔT : 単位長さあたりの垂直抗力

ΔS : 単位長さあたりの摩擦力

γ_s : 砕石の単位体積重量

H : アンカー先端部の設置深さ

r_a : アンカー先端部を球としたときの半径

θ : すべり角

ϕ : 内部摩擦角

4.3 計測した引抜き抵抗から算出したすべり角 θ

式(3)の θ に 0° から 90° の値を代入し、図-7で定義した引抜き抵抗 F_a に合う値を求め、すべり角 θ とした。その際に使用したパラメータの算出方法を以下に示す。

1) 砕石の単位体積重量 γ_s

使用した砕石の重さと土槽に密に積めた場合とゆるく積めた場合の体積から各々算出した。

2) アンカー先端部設置位置の深さ H

実験時に撮影した写真から砕石挿入後の土槽上端からの長さ k を求め、式(6)により算出した。

$$H = 180 - k \quad (\text{mm}) \quad (6)$$

3) アンカー先端部を球としたときの半径 r_a

実際にはアンカー先端部は楕円状のため、アンカー幅 b とアンカー厚さ c の平均値とした。

4) 内部摩擦角 ϕ

$\phi=40^\circ$ と仮定した。

上記の方法により求めたパラメータ等の一覧と算定したすべり角、その時の引抜き抵抗力の値を表-4に示す。

表-4に示すように、すべり角 θ は約 30° であり、経験から現実的と考えられる値に近い。また、すべり面はぎりぎ

表-4 パラメータの一覧

パラメータ	Case1	Case4
砕石の単位体積重量 γ_s (kN/m ³)	12.3	11.9
アンカー先端部の設置深さ H (m)	0.148	0.155
アンカー幅 b (mm)	11	23
アンカー厚さ c (mm)	9	19
アンカー先端部を球とした時の半径 r_a (mm)	5	10.5
内部摩擦角 ϕ (°)	40	40
すべり角 θ (°)	33	30
引抜き抵抗力 F_a (kN)	0.025	0.030

り土槽の壁面に届いていないという結果であった。

今回のモデル化には、仮定が多く含まれている。また、種々の条件下での適合性は未知数であるため更なる実験的検討が必要である。とはいえ、引抜き抵抗力を大まかに推定する上では有用な式であると考えられる。

5. 数値解析による補強効果の検討

本研究では基礎捨石部へアンカーを施工した場合の補強効果の有無、また、その程度を有効応力解析プログラム FLIP²)を用いて検討した。

5.1 対象断面と解析に用いた主要パラメータ

1995年兵庫県南部地震の際に被災した神戸港六甲アイランドのケーソン式岸壁であるRF3岸壁(水深-8.5m, 設計震度0.15, 床掘置換改良)の断面を対象とした。この岸壁の標準断面図を図-9に示す。

入力地震動には、神戸市開発局が設置した神戸港ポートアイランドの鉛直アレー地震観測網による1995年の兵庫県南部地震の際の観測記録を用いた。

神戸港六甲アイランドでは、被災後に凍結サンプリングやPS検層などの各種調査が実施され、その結果をもとに解析地盤定数が算定されており³⁾、本検討でもこの定数を用いた。

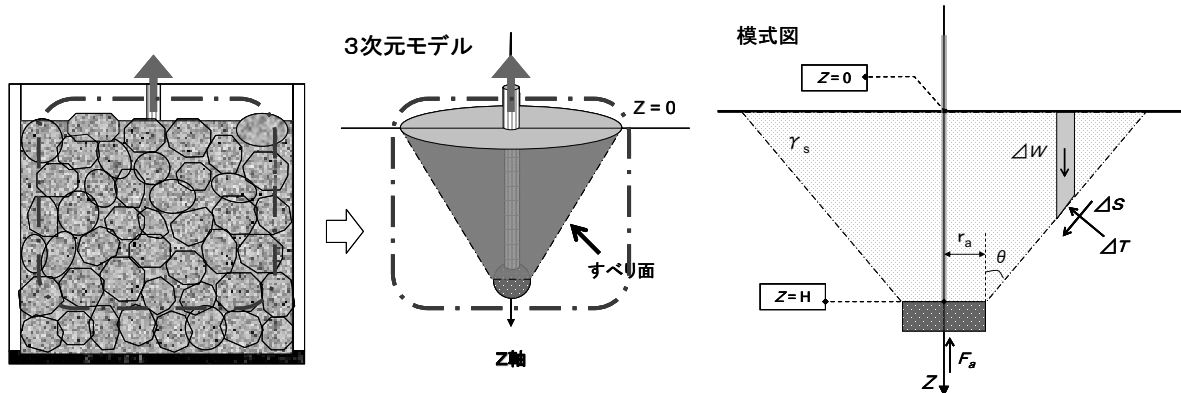


図-8 引抜き時のすべり面モデル

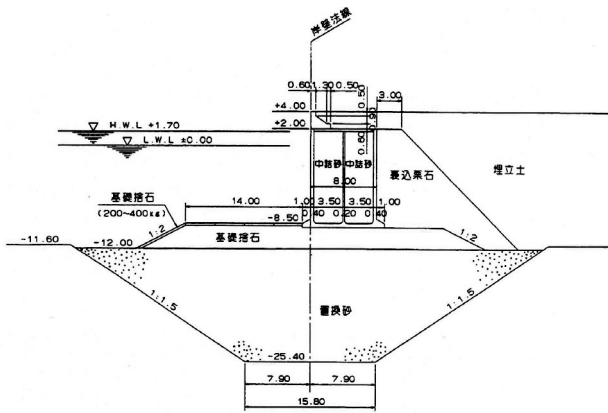


図-9 RF3 岸壁の標準断面図³⁾

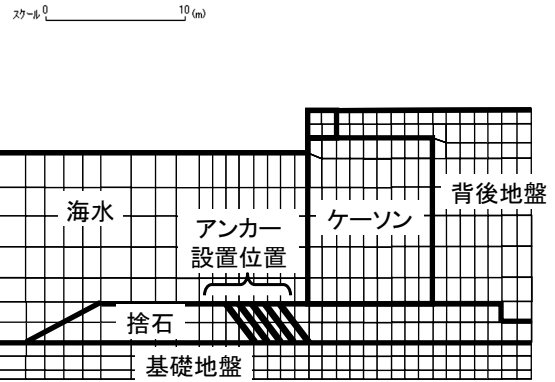


図-10 アンカー設置位置

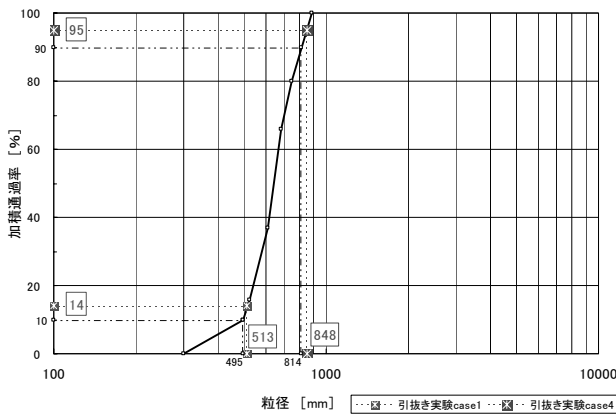


図-11 実捨石の粒径加積曲線の例⁴⁾と
アンカー先端部の最大径 ϕ_{max}

5.2 アンカーのモデル化

5.2.1 アンカーの設置位置

アンカーは非線形ばね要素を用いてモデル化した。アンカーの設置位置を図-10に示す。ただし、本研究はアンカーの施工可能性に主眼を置いた基礎研究であり、アンカーの適切な設置位置はまだ十分に検討していない。よって、とりあえず補強効果の有無の検証に主眼を置き、無対策時で変形量の大きい部分へ設置した。

5.2.2 アンカー先端部の最大径 ϕ_{max} の算定

アンカー先端部のサイズは、図-4で示した碎石の粒径加積曲線とアンカー先端部の最大径 ϕ_{max} (中辺長 b) の関係を物理的相似性(D_{90} で $1/37$)を満たすように、実捨石(鼠ヶ関)の粒径加積曲線⁴⁾を用いて決定した。実捨石の粒径加積曲線とアンカー先端部の最大径 ϕ_{max} の関係を図-11に示す。なお、圧入実験での結果○が引抜き実験での Case1 に、圧入実験での結果×が引抜き実験での Case4 にそれぞれ対応している。

図-11より、引抜き実験での Case1 の場合のアンカー先端部の最大径 ϕ_{max} は D_{14} の値である 513mm、Case4 の場合の最大径 ϕ_{max} は D_{95} の値である 848mm である。

表-5 RF3 岸壁におけるアンカーの引抜き抵抗

パラメータ	Case1 により算定	Case4 により算定
碎石の単位体積重量 γ_s	(kN/m^3) 19.6	19.6
アンカー先端部の設置深さ H	(m) 2.70	2.70
アンカー先端部の扁平率 p^{*1}	0.89	0.83
アンカー幅 b (アンカー先端部最大径 ϕ_{max})	(mm) 513	848
アンカー厚さ c ($=b \times p$)	(mm) 457	704
アンカー先端部を球とした時の半径 r_a^{*2}	(mm) 0.24	0.39
内部摩擦角 ϕ	($^\circ$) 40	40
すべり角 θ	($^\circ$) 33	30
引抜き抵抗力 F_a	(kN) 312.8	352.9

*1 無次元量であるため、表-2をもとに決定

*2 r_a はアンカー幅 b と厚さ c の平均値

5.2.3 アンカーの引抜き抵抗力 F_a の算定

図-7に示したモデルを考え、式(1)を用いて算出した。ここで、すべり角は表-4より Case1 の場合は 33° 、Case4 の場合は 30° とした。ただし、式(1)はアンカーの引抜き方向(z 軸方向)と重力加速度の方向が一致している場合の式であるため、実際には異なる値となる。また、アンカー先端深さについても相似則を考慮していないため、実験条件と解析条件は異なっておりそのまま適用できるものではない。しかし、本解析での引抜き方向は図-10に示すように傾斜しているため、図-8でモデル化した土塊の体積が傾斜に応じて大きくなり、それに伴って、 z 軸方向に抜けるより抵抗力 F_a は大きくなり安全側になるであろうと推定している。ただし、本当に安全側であるかどうかは今後の検討課題である。

引抜き実験での Case1 と Case4 の結果を、RF3 岸壁の捨石部に適用して計算した引抜き抵抗を表-5に示す。

5.2.4 アンカーの荷重-変位曲線のモデル

4.1節に示したように、荷重-変位曲線をバイリニアでモデル化した。なお、プログラムの特性上、第二基準変位 d_2 は、そのままモデル化できないため、解析結果のアンカーの伸びと比較し、解析の適用性を判断する指標として考える。

表-5より、Case1 と Case4 の引抜き抵抗 F_a には大きな

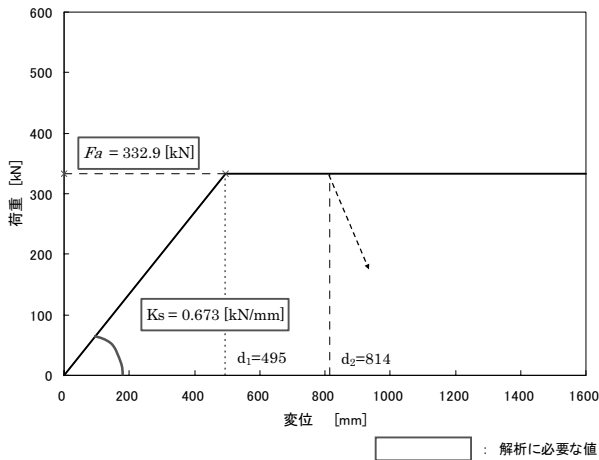


図-12 アンカーの解析定数

表-6 解析ケース

アンカー解析条件		解析地盤		
設置の有無	パラメータ		液状化考慮	液状化考慮 (地盤改良効果を考慮)
	引抜き抵抗力	初期弾性係数		
なし	-	-	CaseA	CaseB
あり	F_a	K_s	-	CaseC
	$F_a/5$	K_s	-	CaseD
	F_a	$K_s/5$	-	CaseE

* $F_a=332.9\text{kN}$, $K_s=0.673\text{kN/mm}$ である。

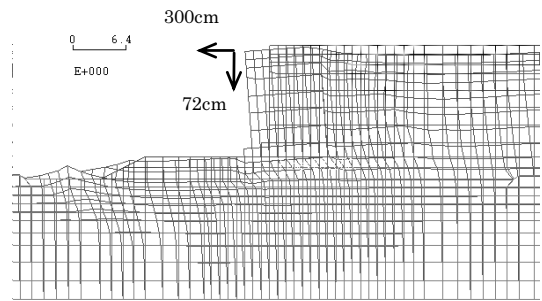
差はないため、両者の平均値 332.9kN を用いて図-12 に示した荷重-変位曲線を作成し、基本となるアンカーの解析定数を決定した。

ここで、 K_s は初期弾性係数を示している。また、第一基準変位 d_1 以降の剛性にあたる第二弾性係数をゼロとすると解析が不安定になるため、ここでは K_s の 1/100 の値とした。最小粒径と最大粒径は、図-11 から D_{10} の値 495mm と D_{90} の値 814mm を用いている。

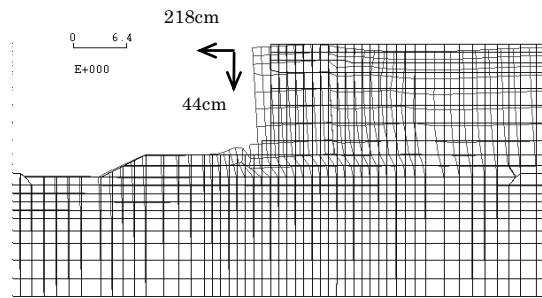
5.3 解析結果と補強効果の検討

実験ケースは基礎地盤(置換砂部分)のパラメータやアンカーの解析定数に幅を持たせ、表-6 に示す 5 ケースで行った。CaseA は無対策のケース、CaseB~CaseE は基礎地盤の液状化を防ぐため地盤改良(等価 N 値 25, $F_c \leq 5\%$)を行ったケースである。また、本研究では、アンカーの寸法効果を考慮できていないため、アンカーの強度定数に幅を持たせてパラメトリックスタディを実施した。

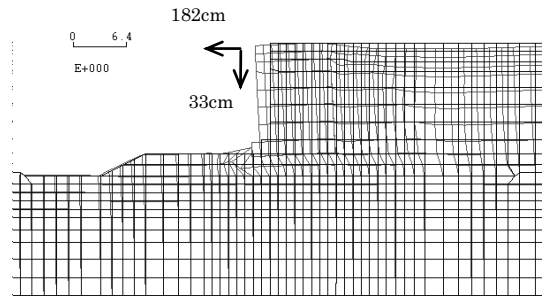
図-13 に CaseA(無対策)、CaseB(地盤改良、アンカーなし)、CaseC(地盤改良、アンカーあり)のケースの残留変形図を示す。CaseB に比べ、CaseC の方が天端変位が小さくなっており、アンカーを設置したことによる補強効果があったと考えられる。しかし、アンカーを設置したことによるケーソン天端変位の減少量は最大で、水平変位では設置していない場合のおよそ 16%、鉛直変位ではおよそ 25% であって、現段階では補強効果はまだ不十分である。また、アンカーの強度定数を変化させた CaseD, CaseE でも、捨石部の変形抑制およびケーソン天端変位抑制が確認でき



a) CaseA (無対策)



b) CaseB (地盤改良, アンカーなし)



a) CaseC (地盤改良, アンカーあり)

図-14 解析結果の比較

た(ケーソン天端変位で CaseB に比べて各々 10.1, 11.2%減)。

本解析での対象断面は捨石層が薄いため、アンカーを打つことによる補強効果が小さかったとも考えられる。今後、アンカーの本数、設置方向、対象断面等をさらに検討し、どのような条件で大きな補強効果が得られるか、その際の適切なアンカー強度等を検討する必要がある。

6. まとめ

- 1) 捨石模型へのアンカーの圧入実験により、変形が起こり得るようなゆるい状態ほど、基礎捨石中でアンカー先端部の形状を容易に確保できることを確認した。また、アンカー定着部の作成は条件次第では十分に可能であることがわかった。
- 2) アンカー模型の引抜き実験の結果から、碎石の詰め方が密詰めでもゆる詰めでも環境条件に適合したアンカーを施工すれば、ある程度の定着効果が得られる可能性があることがわかった。

- 3) 数値解析におけるアンカーのモデル化を提案し、アンカーを設置することによる対策効果を確認した。この時、基礎地盤が強固であるほどアンカーによる補強の効果はある。

なお、今後の課題として、①模型のスケール効果を考慮した引抜き抵抗の評価、②適切なアンカー強度、剛性の検討、③適切なアンカーの配置の検討、④実施工方法の詳細な検討が必要である。

謝辞

本研究は、日本アンカー協会の研究助成を頂きましたので、ここに謝意を表します。

参考文献

- 1) 既存基礎岸壁の補強工法，特許番号 3716314
- 2) (財)沿岸研究センター：液状化による構造物被害予測プログラム FLIP(Ver.6.1.5)
- 3) 解析精度向上 WG：FLIP の解析における解析精度向上に関する諸検討，pp.4-1-4-40，2004.
- 4) 荘司喜博：大型三軸圧縮試験による捨石材のせん断特性に関する考察，港湾技術研究所報告，第 22 卷，第 4 号，pp.59-80，1983.

(2009 年 6 月 29 日 受付)

