

皿ばねアンカーを用いた斜面安定対策工法に関する研究

緊張力保持機構について

山本 彰 鳥井原 誠

Slope Stabilization by Ground Anchorages using Coned Disk Springs - Prestress-Maintaining Technique -

Akira Yamamoto Makoto Toriihara

Abstract

Two types of model tests were been performed on ground anchorages using coned disk springs to determine the applicability of this prestress-maintaining technique. One type was a reduction model test on the anchorage load and the other was a slope model test with anchorages. This paper also proposes a long term anchorage working load prediction method using a visco-elastic model. The reduction in anchorage working load with coned disk springs is one half to one third of the reduction in anchorage working load without coned disk springs. Long term anchorage working loads are obtained by the prediction method with and without coned disk springs.

概要

本報告は、皿ばねアンカーを用いた斜面安定対策工法における皿ばねの緊張力保持効果を明らかにするため実施した、緊張力緩和実験と斜面模型実験の結果についてまとめたものである。また、地盤を粘弾性体と仮定したアンカー緊張力の予測法を示すと同時に、模型実験結果によってその妥当性を検証した。その結果、アンカー頭部に皿ばねを設置した場合の緊張力低下量は皿ばねを設置しない場合のその1/3～1/2程度に抑制されるという結果が得られ、その効果と適用性を確認することができた。また、地盤を粘弾性体と仮定した緊張力の予測法は皿ばね設置の有無に係わらず、初期緊張後および再緊張後におけるアンカー緊張力の長期的な変化をよく表現することを明かにした。

1. はじめに

グラウンドアンカー（以下、アンカーと呼ぶ）は切土のり面や自然斜面の安定化を図るために広く用いられており、緊張力を加えて斜面の安定化を図ることが多い。しかし、地盤に打設されたアンカーの緊張力は地盤の沈下および変形、アンカー体と地盤の間のクリープ、 tendon と注入材の間のクリープ、 tendon のリラクゼーションなどが原因で、時間の経過とともに低下することが知られており¹⁾²⁾、緊張力を加えたアンカーでは緊張力の低下が斜面の安定性に直接影響を与えることから、緊張力の低下は斜面に打設されたアンカーの維持管理における課題の1つになっている。特に、アンカーとすべり面のなす角度が垂直に近いほど、緊張力の低下は斜面全体の安定性に大きな影響を与えることになる。

このような長期的な緊張力の変化に対し、我が国では明確な管理基準等は設けられていないが、F I P³⁾ や B S I⁴⁾ では斜面に限ったものではないが設計アンカー力に対して10%以上の緊張力低下が生じた場合にはその原因を分析すべきであると述べるなど、緊張力を保持することは斜面の安定性を確保する上で極めて重要である。

そこで、本報告ではFig. 1に示す皿ばねアンカーを用

いた斜面安定対策工法のアンカー緊張力保持の効果と適用性について検討するため、アンカー緊張力緩和実験とアンカーを設置した斜面模型実験を実施した。また、地盤を粘弾性体としてモデル化することによって皿ばねを設置しない場合および皿ばねを設置した場合の初期緊張後と再緊張後のアンカー緊張力を予測する方法を示すと同時に、模型実験結果に対する解析によってその妥当性を検証した。

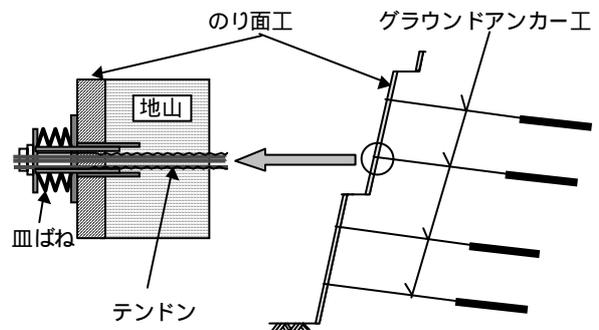


Fig. 1 皿ばねアンカーの概要
Schematic View of Ground Anchorages
using Coned Disk Springs

2. アンカーの緊張力保持技術の概要

Fig. 2はアンカー頭部に皿ばねを設置した場合と皿ばねを設置しない通常のアンカー頭部構造を模式的に示しており、皿ばねは2枚の定着板（定着板Uと定着板L）の間に設置する。皿ばねは緊張力や必要変位量に応じて形状や重ね合わせの枚数を变化させる。Fig. 3は皿ばねの基本的な形状を示しており、定着板によって加わる荷重と変位の関係は皿ばねの外径 D_o 、内径 D_i 、板厚 t 、高さ H によって決まる。Fig. 4は皿ばねを設置したアンカーの緊張力保持機構を模式的に示したものであり、縦軸はアンカー緊張力および皿ばねの作用荷重、横軸は変位を示している。

たとえば、Fig. 2においてアンカー緊張後、 u_g の地盤変位が生じた場合を考える。Fig. 4の作用荷重 - 変位曲線上の矢印は地盤変位 u_g を生じた場合の作用荷重の低下経路を示しており、皿ばねを設置しない場合には地盤変位 u_g に伴って P_a だけ緊張力が低下する。一方、同じ地盤変位に対して皿ばねを設置した場合の緊張力低下量は P_{sa} となる。したがって、同じ地盤変位に対して皿ばねを設置した場合の緊張力低下量は皿ばねを設置しない場合のそれに比べ ($P_a - P_{sa}$) だけ小さくなる。これは地盤変位 u_g のうち、($u_g - u_u$) の変位分を皿ばねが吸収するためであり、これが皿ばねをアンカー頭部に設置した場合のアンカーの緊張力保持機構である。

3. 実験概要

模型実験では皿ばねを設置した場合の緊張力の保持効果を検証するための緊張力緩和実験と斜面への適用性を調べるための斜面模型実験を実施した。

3.1 緊張力緩和実験

Fig. 5, Photo 1は緊張力緩和実験のうち、皿ばねを設置した場合の実験概要を示している。実験に用いた供試体はカオリン粘土、セメント系固化材と水を重量比1:1:1の割合で混合して作成した直径200mm、高さ500mmの円柱供試体であり、供試体の一軸圧縮強度は230kPaである。供試体の中心には軸方向にアンカー tendon に見立てた鋼製の全ねじボルト（断面積 14.2mm^2 ）を設置しており、ボルトと供試体が直接接しないようボルト周辺には油粘土を付着させている。ボルトの下端部には支圧板として直径100mm、厚さ3.2mmの鉄板を設置しており、頭部にも同じ鉄板を定着板として設置し、ナットで締め付けてアンカーに緊張力を加える構造となっている。実験ケースは皿ばねを設置しない場合（皿ばね無し）と皿ばねを設置した場合（皿ばね有り）の2ケースである。皿ばねはFig. 5に示しているように2枚の定着板で挟むように設置している。実験に用いた皿ばねの寸法は外径 $D_o=68\text{mm}$ 、内径 $D_i=34\text{mm}$ 、板厚 $t=1.6\text{mm}$ 、高さ $H=3.8\text{mm}$ であり、実験では皿ばねを1枚設置した。

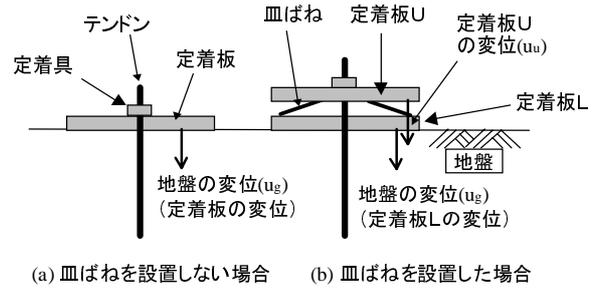


Fig. 2 皿ばねの設置方法の模式図
Schematic View of Anchorage with Coned Disk Spring and without Coned Disk Spring

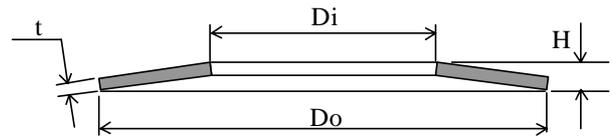


Fig. 3 皿ばねの断面形状の模式図
Section of Coned Disk Spring

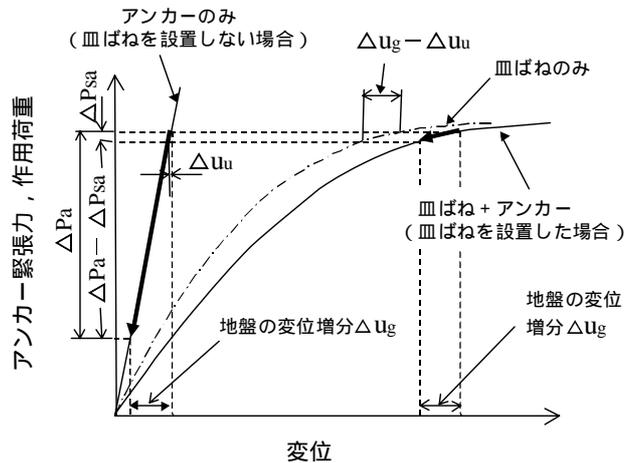


Fig. 4 アンカー緊張力と変位の関係
Concept of Prestress Maintaining Technique

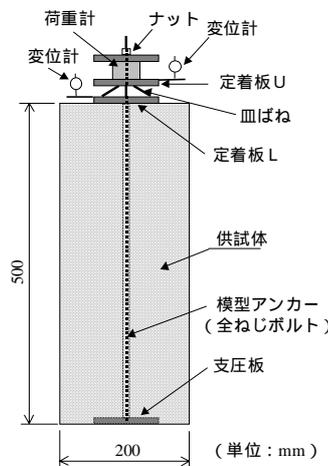


Fig. 5 緊張力緩和実験概要 (皿ばね有り)
Specimen of Relaxation test (with Spring)



Photo 1 緊張力緩和実験の状況 (皿ばね有り)
View of Relaxation test (with Spring)

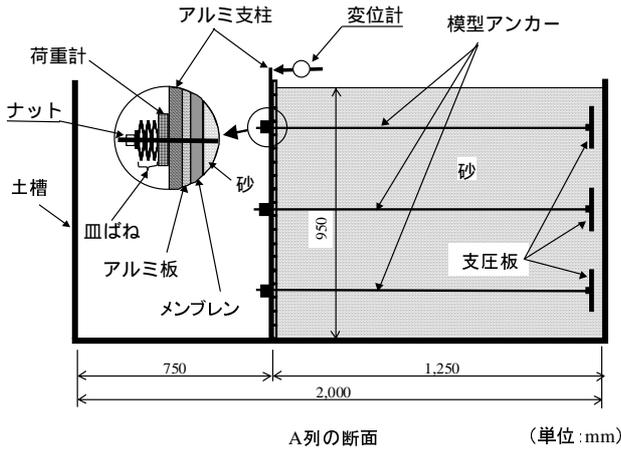


Fig. 6 斜面模型実験の概要
Section of Slope Model Test

実験に当たっては初期緊張力として2.55kNの緊張力を与え、ボルトの緊張力の低下を荷重計によって計測するとともにボルト頭部に設置した定着板の変位を計測した。なお、皿ばねを設置した場合には皿ばねを挟む上下の定着板の変位を計測している。

3.2 斜面模型実験

Fig. 6, Photo 2は斜面模型実験の概要を示しており、実験に用いた土槽は長さ2000mm、高さ1000mm、幅1000mmの鋼製土槽である。模型斜面は高さ950mmの鉛直のり面であり、空中落下法と振動締固めにより相対密度が80%になるよう地盤を作成した。なお、実験に用いた砂試料は0.85mmのふるいで調整した岐阜砂であり、その物理的性質は粒子密度 25.67kN/m^3 、粗砂分5.8%、細砂分93.5%、シルト分0.7%、最大乾燥密度 15.60kN/m^3 、最小乾燥密度 12.53kN/m^3 である。のり面工は厚さ0.5mmのメンブレンに長さ995mm、幅48mm、厚さ1.0mmのアルミ板を張付けた材料と縦方向に配置した幅50mm、厚さ10mm、長さ1050mmのアルミ支柱4本で構成されている。模型アンカーとしては厚さ0.2mm、幅8mm、長さ1000mmのリン青銅板を用いており、両端部は全ねじボルトをろう付けしてナット締めできる構造となっている。アンカー定着部には厚さ2.0mmの正方形(15cm×15cm)の鉄板を支圧板として設置している。実験ではアンカーに初期緊張力として180Nを与え、初期緊張約20時間後に緊張力が180Nになるよう再緊張力を加えた。皿ばねはPhoto 2のA列のアンカーにのみに設置しており、実験ではA列とB列の最上段アンカーの緊張力を計測した。実験に用いた皿ばねの寸法は外径 $D_o=12\text{mm}$ 、内径 $D_i=6\text{mm}$ 、板厚 $t=0.3\text{mm}$ 、高さ $H=0.72\text{mm}$ であり、実験では皿ばねを並列に2枚、直列に6枚設置した。

4. 実験結果

4.1 緊張力緩和実験の結果

Fig. 7は皿ばね有りと皿ばね無しの場合の緊張力の経時変化を示しており、皿ばねを設置することによって緊

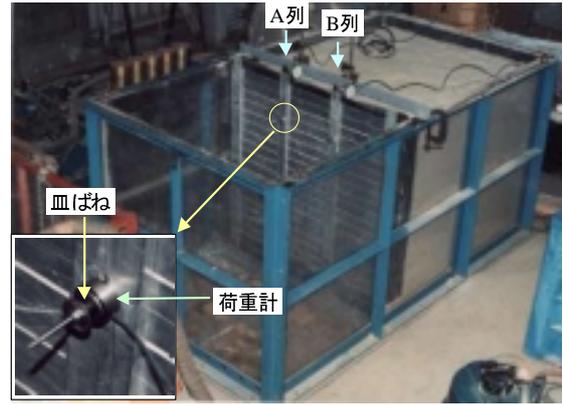


Photo 2 斜面模型実験の状況 (皿ばね有り)
Appearance of Slope Model Test

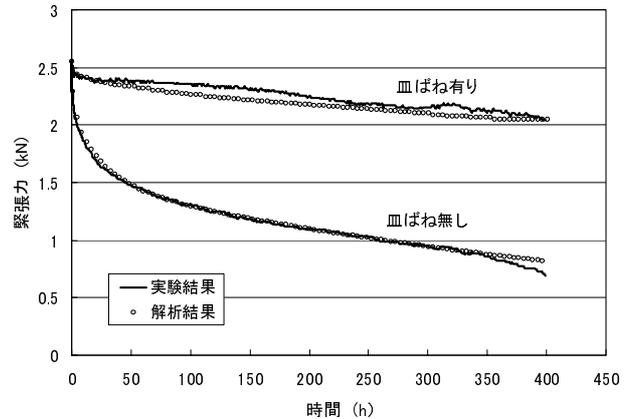


Fig. 7 緊張力の経時変化図 (緊張力緩和実験)
Variation of Working Load(Relaxation Test)

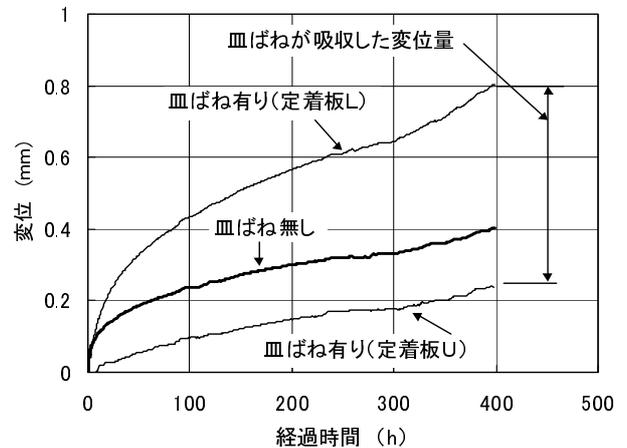


Fig. 8 定着板変位の経時変化図 (緊張力緩和実験)
Variation of Displacement of Bearing Plate (Relaxation Test)

張力の低下量は明らかに小さくなっている。この図から、皿ばね無しの場合の400時間後における有効緊張力は0.70kN、緊張力の低下量は1.85kNであり、初期緊張力に対する400時間後の有効緊張力の割合は27%となっている。一方、皿ばね有りの場合の有効緊張力は2.04kN、緊張力の低下量は0.51Nであり、初期緊張力に対する400時間後の有効緊張力の割合は80%となっている。また、これらの計測結果から、皿ばね有りの場合の緊張力低下量は

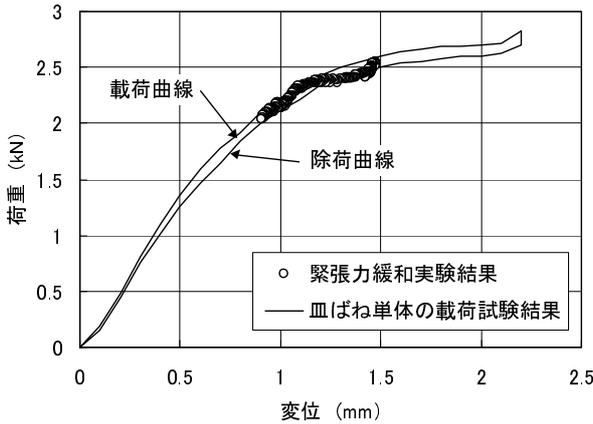


Fig. 9 緊張力低下時の荷重と変位の関係
Relationship between Working Load and Displacement (Relaxation Test)

皿ばね無しの場合のその1/3.6となっており、アンカー頭部に皿ばねを設置することはアンカー緊張力を保持する上で極めて有効と考えられる。

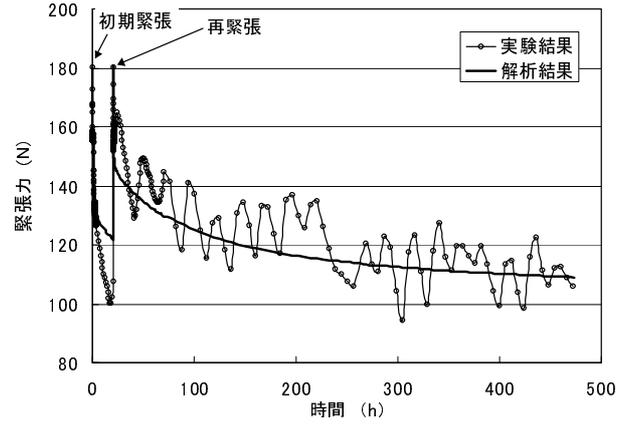
次に、Fig. 8は各実験ケースのアンカー緊張後における定着板の変位の経時変化を示している。この図から、皿ばね有りの場合の定着板Uと定着板Lの変位は大きく異なっており、この定着板の変位の差が皿ばねによって吸収された供試体の沈下に伴う変位分である。これが2. で述べた地盤のクリープによる変形を皿ばねが吸収し、その結果アンカー緊張力の低下が抑制されるという皿ばねによるアンカーの緊張力保持機構である。なお、皿ばね有りの場合の定着板Lの変位は皿ばね無しの場合のそれに比べ大きな値を示しているが、これは皿ばね有りの場合には緊張力の低下が小さく、大きな緊張力が保持されるためである。

Fig. 9は皿ばね単体の載荷試験で得られた特性曲線を示しており、図中には緊張力緩和実験で得られた緊張力低下時における皿ばねの荷重と変位の関係を併せて示している。なお、緊張力低下時の皿ばねの変位はFig. 5の定着板Uと定着板Lの相対変位として求めた。この図から、緊張力低下時の皿ばねの荷重と変位の関係は皿ばねの特性曲線に沿って低下しており、皿ばねの特性曲線の勾配の緩い部分で変化している。このように、皿ばねの特性曲線の接線勾配の小さい領域を利用することがこの技術を有効に活用する上で最も重要となる。

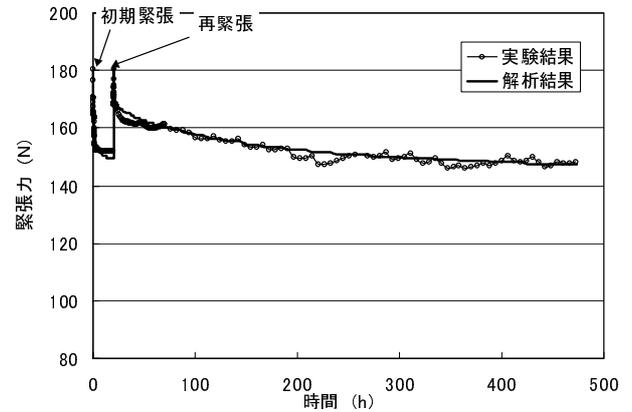
4.2 斜面模型実験の結果

Fig. 10は斜面模型実験で得られたアンカー緊張力の経時変化を示しており、実験では初期緊張から約20時間後に再緊張している。

初期緊張時(0~20時間の間)の変化に着目すると、皿ばね無しの場合の緊張力は緊張直後に大きく低下し、その後も継続的に大きな低下が見られる。皿ばね無しの場合の初期緊張から20時間後における有効緊張力は100N、緊張力の低下量は80Nであり、初期緊張力に対する有効緊張力の割合は56%となっている。一方、皿ばね有りの場合の緊張力は緊張直後に大きく低下しているものの、そ



(a) 皿ばね無し



(b) 皿ばね有り

Fig. 10 緊張力の経時変化図(斜面模型実験)
Variation of Working Load of Anchorages
(Slope Model Test)

の低下量は皿ばね無しの場合よりかなり小さく、その後はほとんど低下していない。皿ばね有りの場合の初期緊張から20時間後における有効緊張力は149N、緊張力の低下量は約31Nであり、初期緊張力に対する有効緊張力の割合は83%となっている。これらの結果から、皿ばねを設置することによって初期緊張力に対する有効緊張力の割合は56%から83%に増加しており、皿ばね有りの場合の緊張力低下量の皿ばね無しの場合のそれに対する比は1/2.6となっていることから、初期緊張後の緊張力の時間的変化に対して皿ばねの緊張力の保持効果がよく発揮されていることが分かる。

次に、再緊張時(20~480時間)の変化に着目すると、皿ばね無しの場合の緊張力は大きく低下し、緊張力はその後も10%を越える周期的な変動を繰り返しながら大きく低下している。この緊張力の周期的な変化は温度変化によるものと考えられる。皿ばね無しの場合の再緊張から460時間後(初期緊張から480時間後)における有効緊張力は110N(平均値)、緊張力の低下量は70Nであり、初期緊張力に対する有効緊張力の割合は61%となっている。一方、皿ばね有りの場合の緊張力は再緊張直後に大きく低下し、その後もなだらかに低下しているが、その低下量は皿ばね無しの場合に比べかなり小さくなってい

る。また、温度変化に伴う緊張力の変化は非常に小さく
なっており、温度変化に伴う緊張力の変動に対しても皿
ばねは有効に作用している。皿ばね有りの場合の再緊張
から460時間後における有効緊張力は147N、緊張力の低下
量は33Nであり、再緊張力に対する有効緊張力の割合は
82%となっている。これらの結果から、皿ばねを設置する
ことによって再緊張力に対する有効緊張力の割合は61%
から82%に増加しており、また皿ばね有りの場合の緊張
力低下量と皿ばね無しの場合のそれとの比は1/2.1となっ
ていることから、再緊張後においても皿ばねによる緊張
力の保持効果がよく発揮されている。

以上から、アンカー頭部に設置した皿ばねは地盤のク
リープや温度変化に伴うアンカーの伸縮変位を吸収し、
緊張力を保持する効果の大きいことが分かる。

5. 粘弾性モデルによる緊張力の予測

アンカー頭部に設置する皿ばねの設計に当たっては皿
ばねの作用荷重と必要変位量を与える必要がある。皿ば
ねの作用荷重については設計アンカー力によって与えら
れる。一方、皿ばねの必要変位量についてはアンカー緊
張力の低下の原因となる地盤の変形等を予測する必要が
あることから非常に難しい。そこで、地盤を粘弾性体と
仮定し、まず皿ばねを設置しない場合のアンカー緊張力
の計測データを基に地盤のクリープ関数を求め、次に得
られたクリープ関数を用いて皿ばねを設置した場合のアン
カー緊張力および再緊張後の緊張力の変化を予測する
ことを試みた。さらに、模型実験結果に対して、この手
法を適用しその妥当性を検証した。

5.1 粘弾性モデルによる緊張力の予測方法について

アンカー緊張力の予測に当たってはアンカー tendon
を線形弾性体、地盤を粘弾性体、皿ばねを非線形弾性体
と仮定することとし、粘弾性体としてはVoigt modelを用
いることとした。

ある時刻におけるアンカー緊張力を $P_a(t)$ 、初期緊張
後の tendon の伸縮変位を $u_a(t)$ とすると、アンカー緊
張力と変位の関係は次式で表すことができる。

$$P_a(t) = \{u_{a0} + u_a(t)\}k_a \quad (1)$$

ここに、 u_{a0} は初期緊張時における tendon の伸縮変
位、 k_a は tendon のばね定数であり、次式で与えら
れる。

$$k_a = \frac{E_t A_t}{L_t} \quad (2)$$

ここに、 E_t は tendon の弾性係数、 A_t は tendon の断
面積、 L_t はアンカー軸方向の長さであり、たとえば L_t とし
てアンカー自由長を与えることができる。

一方、アンカーが地盤に与える荷重を $P_g(t)$ とすると、
同時刻における地盤のクリープによる変位 $u_g(t)$ はVoigt

modelを用いて次式で表すことができる。

$$u_g(t) = \int_{t_0}^t \varphi(t-t') \frac{dP_g(t')}{dt'} dt' \quad (3)$$

ここに、 $\varphi(t-t')$ はクリープ関数であり、次式で示さ
れる⁵⁾。

$$\varphi(t-t') = \sum_i \frac{1}{k_{gi}} (1 - e^{-(t-t')/\tau_i}) + \frac{1}{k_{g0}} + \frac{(t-t')}{\beta} \quad (4)$$

ここに、 τ_i は遅延時間である。また、 k_{gi} は遅延時間
 τ_i に対応する地盤のばね定数、 k_{g0} は瞬間弾性ばね定
数、 β は粘性係数に対応する値であり、これらは次式で
与えられる。

$$k_{gi} = \frac{A_g G_i}{L_g}, \quad k_{g0} = \frac{A_g G_0}{L_g}, \quad \beta = \eta \frac{A_g}{L_g} \quad (5)$$

ここに、 G_i は各遅延時間 τ_i に対応する弾性係数、 G_0 は
瞬間弾性係数、 η は粘性係数である。また、 A_g はアン
カー定着部の面積、 L_g はクリープ変形を生じるアンカー
軸方向の層厚であり、たとえば A_g として受圧板の面積、
 L_g としてアンカー自由長を与えることができる。

一方、同時刻における皿ばねの荷重 $P_s(t)$ と変位 $u_s(t)$
の関係は、弾性論に基づく理論解によって次式で表され
る⁶⁾。

$$P_s(t) = \frac{4E_s}{1-\nu^2} \frac{s^4}{\alpha D_o^2} \frac{u_s(t)}{s} \left[\left\{ \frac{h}{s} - \frac{u_s(t)}{s} \right\} \right. \\ \left. \times \left\{ \frac{h}{s} - \frac{u_s(t)}{2s} \right\} + 1 \right] \quad (6)$$

ここに、 E_s は弾性係数、 ν はポアソン比、 s は板厚、 D_o
は外径、 D_i は内径、 α は D_o/D_i に関する係数、 h は皿ばねの
有効高さ ($h=H-s$)である。

ある時刻 t におけるアンカー緊張力は式(1)~(6)対し
て以下の荷重および変位増分の条件を満足するように随
時解くことによって求めることができる。

皿ばねを設置しない場合

$$-P_a(t) = P_g(t) \quad (7)$$

$$\Delta u_a(t) = \Delta u_g(t) \quad (8)$$

皿ばねを設置した場合

$$-P_a(t) = P_g(t) = P_s(t) \quad (9)$$

$$\Delta u_g(t) = \Delta u_a(t) + \Delta u_s(t) \quad (10)$$

ここに、 $u_g(t)$ 、 $u_s(t)$ 、 $u_a(t)$ はある時刻 t にお
ける時間増分 Δt に対する地盤のクリープの変位増分、皿ば
ねの変位増分、 tendon の変位増分である。

5.2 模型実験結果に対するシミュレーション解析

解析の目的が緊張力の時間的な変化を予測することに
あることから、緊張後30分間の緊張力の変化を地盤の即
時変形に伴うものとし、緊張後30分以降の緊張力を対象

Table 1 緊張力緩和実験および斜面模型実験の解析に用いた定数
Parameters for Simulation Analysis of Relaxation Test and Slope Model Test

パラメータ		緊張力緩和実験	斜面模型実験	
模型アンカー	断面積 A_a (mm^2)	14.2	0.016	
	弾性係数 E_a (MPa)	205,800	102,900	
	長さ L_a (mm)	500	1000	
	ばね係数 k_a (N/mm)	5844.7	1.646	
皿ばね	ポアソン比	0.3	0.3	
	弾性係数 E_s (MPa)	205,800	205,800	
		0.69433	0.69433	
	外径 D_o (mm)	68.0	12.0	
	内径 D_i (mm)	34.0	6.0	
	板厚 s (mm)	1.6	0.30	
	高さ H (mm)	3.8	0.72	
	直列枚数	1	6	
	並列枚数	1	2	
	クリープ関数	遅延時間 (hour)	t_1	5
t_2			40	60
t_3			10,000	300
ばね係数 (N/mm)		k_{e1}	65333.3	700.0
		k_{e2}	15076.9	700.0
		k_{e3}	251.3	490.0

に時間的な変化を予測することとした。そこで、地盤を表す粘弾性モデルとして、6要素のVoigt modelを用いることとした。

Fig.7は緊張力緩和実験についての解析結果を実験結果と併せて示している。Table 1は解析に用いた解析定数を示している。粘弾性モデルにおける遅延時間はアンカー緊張力の経時変化を基に赤木の方法⁷⁾を用いて推定し、各遅延時間に対する弾性係数は皿ばね無しの場合の緊張力の経時変化に合うように設定した。その後、同じ解析定数を用いて皿ばね有りの場合の緊張力の経時変化を算定した。この図から、皿ばね有りの場合の解析結果と実験結果はよく一致しており、皿ばね無しの場合のアンカー緊張力の計測結果から求めたクリープ関数を用いることによって、皿ばね有りの場合の緊張力の変化はほぼ予測できると考えられる。

次に、斜面模型実験結果に対する解析結果を示す。なお、緊張力緩和実験は恒温室で実施したため、計測結果は気温の変化の影響をほとんど受けていないが、斜面模型実験は恒温室で実施しなかったため、Fig. 10からも分かるように気温の変化の影響を強く受けている。そこで、皿ばね無しの場合の初期緊張後20時間の計測結果を模型アンカーと同じ材料に貼り付けたダミーゲージの計測値を用いて温度補正し、補正したアンカー緊張力を用いてクリープ関数を求め、皿ばね有りの場合および再緊張後のアンカー緊張力を推定した。Fig. 10には得られたクリープ関数を用いて求めた皿ばね無しの場合の再緊張後の緊張力の解析結果を実験結果と併せて示しており、実験結果は気温変化の影響を受けて周期的に変動しているものの、解析結果は実験結果とよく対応している。一方、Fig. 10には同じクリープ関数を用いて皿ばね有りの場合の解析結果を実験結果と併せて示しているが、初期緊張後および再緊張後とも解析結果は実験結果とよく対応していると言える。

これらのことから、地盤を粘弾性体と仮定したアン

カー緊張力の予測法は緊張力の時間的な変化を予測するのに極めて有効であり、実施工に当たってはまず先行的に皿ばねを設置しないアンカーを打設し、その緊張力の計測結果を基に皿ばねの必要変位量を求めることができると考えられる。

6. おわりに

本報告では皿ばねアンカーを用いた斜面安定対策工法の緊張力保持効果と適用性を検証するためアンカー緊張力緩和実験とアンカーを設置した斜面模型実験を実施した。また、地盤を粘弾性体と仮定したアンカー緊張力の予測法を示すとともに、模型実験結果によってその妥当性を検証した。

その結果、以下の結論を得た。

- (1)皿ばねを用いた斜面安定対策工法の緊張力保持の効果と適用性が緊張力緩和実験と斜面模型実験によって検証できた。これらの実験結果によれば、アンカー頭部に皿ばねを設置した場合の緊張力低下量は皿ばねを設置しない場合のその1/3～1/2程度に抑制されるという結果が得られた。
- (2)アンカー緊張力の低下要因となっている地盤のクリープによる変形を皿ばねが吸収し、その結果アンカー緊張力の低下が抑制されるという皿ばねを設置したアンカーの緊張力保持機構を模型実験によって明らかにすることができた。
- (3)アンカーを設置した斜面模型実験では、皿ばね無しの場合のアンカー緊張力は温度の変化によって10%以上変動するのに対し、皿ばね有りの場合には温度変化による緊張力の変動はほとんど見られないことから、アンカー頭部に設置した皿ばねは温度変化に伴う緊張力の変動抑制に対しても有効であると考えられる。
- (4)地盤を粘弾性体と仮定した緊張力の予測法は皿ばねの設置の有無に係わらず、初期緊張後および再緊張後におけるアンカー緊張力の長期的な変化をよく表現することが明かとなった。

参考文献

- 1) 地盤工学会：地盤工学会基準 グラウンドアンカー設計・施工基準，同解説(JGS4101-2000)，(2000)
- 2) 高速道路調査会：斜面安定のためのアンカー工の計画・設計に関する研究(その3) 報告書，(1991)
- 3) Federation Internationale de la Precontrainte：Recommendations for the Design and Construction of Prestressed Ground Anchors，(1996)
- 4) British Standards Institution：British Standard Code of practice for Ground anchorages，(1992)
- 5) 山本三三三：物体の変形学，誠文堂新光社
- 6) 宇野宮秀雄：皿ばね，機械設計，第26巻，第11号，pp.56-63，(1982)
- 7) 赤木知之：レオロジーモデル定数の一決定法，土と基礎，Vol.25，No.3，pp.47-52，(1977)