

雪崩防止柵アンカーの耐荷力について

The Loading Capacity of Anchors in Avalanche Fence

黒川 国夫* 菅野 誠**

Kunio KUROKAWA and Makoto KANNO

鋼管および鋼管の頭部に土圧板を取りつけた、2種類のアンカーの水平載荷試験と引張試験を実施し、曲げ応力および変位などの挙動解析を行った。

この結果、鋼管アンカーの水平支持力は、基礎杭における解析方法と同様に、横方向地盤反力係数 K 値を用いた弾性床土のはりとして算出できる。また、鋼管に土圧板を取りつけたアンカーの水平支持力は、土圧板の載荷幅によって鋼管部分の地盤反力が大きくなったと仮定し、2層系地盤とすることで算出できることが明らかになった。

さらに引張試験によって、アンカーの施工位置がのり頭後部の場合は、斜面方向の荷重の水平分力のみが作用することが確認された。

《雪崩予防施設；水平載荷試験；耐荷力； K 値》

The behavior of steel pipe anchors and anchors with steel plates was analysed by horizontal load tests and tension tests. The horizontal movement of steel pipe anchors is estimated assuming that they are beams on an elastic foundation, by using a coefficient (K) of the horizontal ground reaction.

The horizontal movement of steel plates placed to increase lateral resistance to earth pressure may be analysed as two layer strata where the ground reaction force is increased by the width of steel plates.

From the tension tests it is concluded that horizontal force works on the anchor far from the top of cut slope.

Keywords: countermeasure to avalanche, horizontal load test, loading capacity, K -value.

まえがき

冬季間の雪崩による道路災害を防止する施設として、吊柵（写真-1）や吊枠が多く採用されている。これらの施設本体と雪圧¹⁾を指示するアンカーには、コンクリートブロックや鋼管、H鋼などがある。この内、鋼管アンカーは、急斜面上の施工も比較的容易なことから、多く使用されてきている。

鋼管アンカーの水平力支持力は、アンカーを弾性床土のはりとして計算する方法が考えられる。しかし、基礎杭と異なり10cm程度の小口径であることもあり、従来の

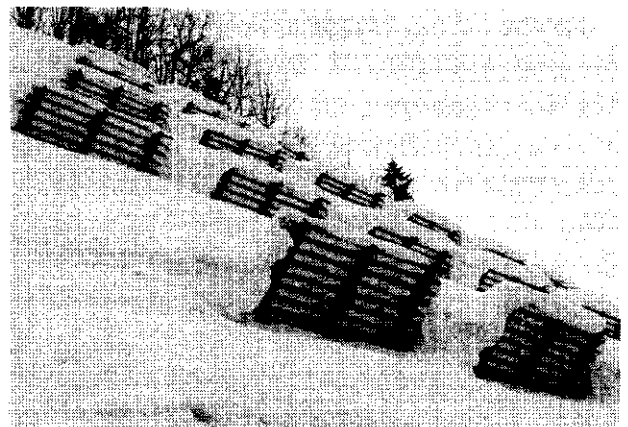


写真-1 吊 柵

*防災雪氷研究室主任研究員 **前防災雪氷研究室員 現室蘭開発建設部苫小牧道路事務所第2工事課

計算手法との適合性、また水平支持力増加のために、土圧板を設置したアンカーの水平支持力の算出方法などが明確になっていない。

このため、国道工事の吊橋設置箇所において、鋼管アンカーおよび鋼管に土圧板を設置したアンカーの水平載荷試験と、ワイヤーロープを連結した鋼管アンカーの引張試験を実施した。本報文は、これらの試験結果に基づき挙動解析を行い、アンカーの水平支持力の算定法につ

いて検討した結果を述べる。

1. 試験概要

試験は、一般国道275号幌加内町朱鞠内湖南部に位置する吊橋設置位置箇所の切土のり面頭部で実施した（図-1）。試験アンカーは、鋼管（ $\phi=114.3\text{mm}$, $t=8.0\text{mm}$, $l=3000\text{mm}$, STB52）を6本（試験用4本、反力用2本）使用した。各アンカーは掘削孔に建込み後、表

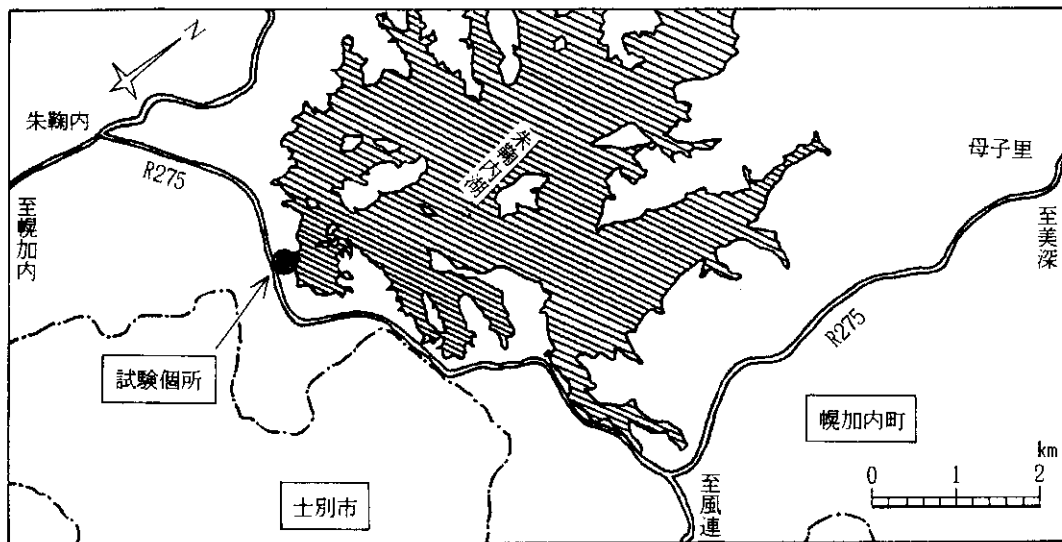


図-1 試験箇所位置図

表-1 発泡モルタル配合表 (1m³当たり)

セメント	砂	起 泡 性 混 和 剤	水セメント比 W / C	フロー値	空 気 量 (参考値)
300 kg	(0.62m ³) 900 kg	2.3 kg	80 %	20±5 秒	35±10%

図-1に示す配合の発泡モルタルを充填し、地盤と一体となるよう設置した。この配合による発泡モルタルは、地すべり抑止杭の設置に用いられ、地盤強度N値50までの地盤と一体として設計できることが確認されている。

土圧板は、アンカーの水平方向の支持力を増加させることを目的として設置した。鋼材はH鋼（100×100×6×8mm, $l=1000\text{mm}$ ）を使用した。アンカー本体への取り付けは、金具により鋼管へボルト止めし、アンカー頭部にT字型に設置した（図-2）。土圧板は深さ方向に1枚、2枚、3枚それぞれ設置した場合の3ケースとした。また、土圧板の埋戻しには細心の注意を払い、受圧面には前記の発泡モルタルを充填し地盤との一体化をはかった。

試験方法は、「杭の水平載荷試験方法・同解説」²⁾に準じ、一方向からの荷重を段階的に増加させる一方向多サイクル方式とした。荷重は400kgごとに増加させ、最大荷重はアンカー本体各部の応力が許容値を越えない

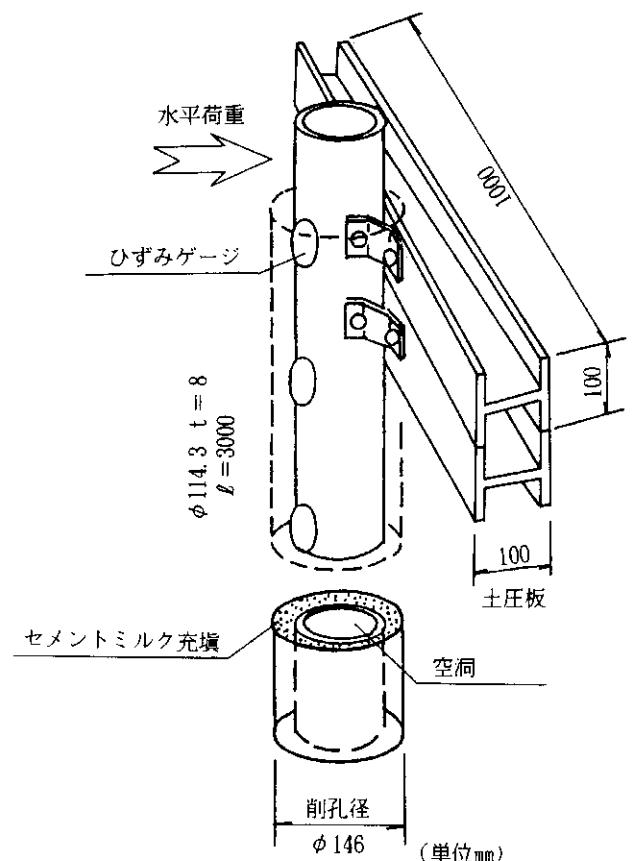


図-2 試験アンカー構造図

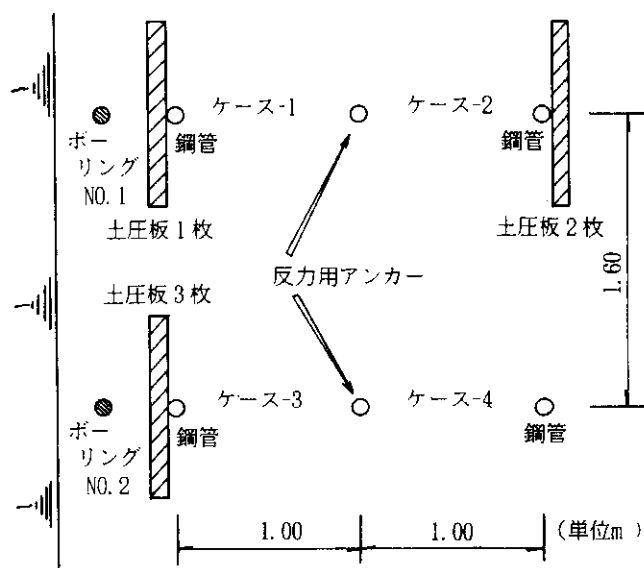


図-3 試験アンカー配置図

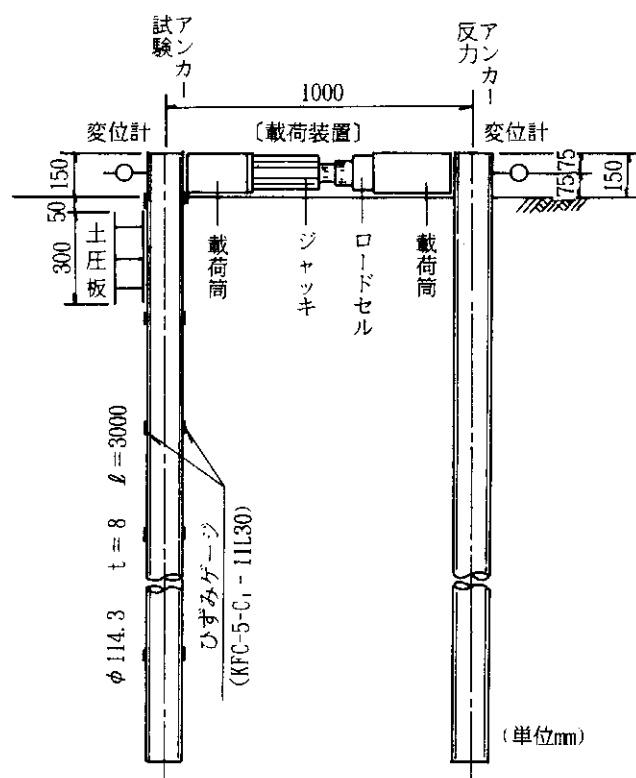


圖-4 水平載荷試驗裝置圖

範囲までとした。試験は鋼管アンカー 1 回、鋼管に土圧板を設置したアンカー 3 回の計 4 回行った（図-3）。測定項目は、ロードセルにより杭頭載荷重を、ダイヤルゲージにより載荷点の水平変位を、また、深さ方向に取りつけたひずみゲージにより本体の応力を、それぞれ各荷重階段ごとに測定した（図-4）。

2. アンカーの水平挙動解析と考察

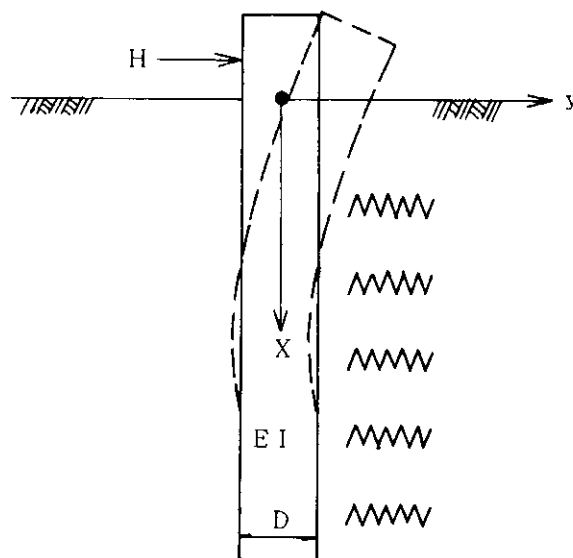


図-5 解析モデル（弾性床上のはり）

2.1 解析方法

一般に水平力を受ける基礎杭の水平支持力は、地盤を弾性体と仮定し、横方向地盤反力係数 K 値を用いた弾性床土のはりとして求めることが多い(図-5)。このときの杭の応力度および変位を求める基本方程式は、次式で表わされる³⁾。

$$EI \frac{d^4 y}{dy^4} + KD y = 0$$

E : 杭の弾性係数

I : 杭の断面二次モーメント

K: 横方向地盤反力係数

D: 杭甬

今回、試験に用いた鋼管アンカーは小口径であり、また根入れ長も短かいなど基礎杭と異なる。このため、上式を基本式として求めた曲げモーメントの計算値と、水平載荷試験により得られる荷重階段ごとの曲げモーメントの計測値を比較し、上式の適合性について検証する。

2.2 K値の算出

K値の算出は、水平載荷試験により求める方法と、地盤の調査結果から推定する方法がある。今回の水平支持力の計算は、水平載荷試験の結果を用いている。しかし、今後水平支持力の算出にあたり、地盤の調査結果を用いることができれば、各現場での雪崩防止柵アンカーの設計が簡便にできるようになる。このため、今回行った水平載荷試験の結果と地盤の調査結果（標準貫入試験N値）から求めたK値を比較検討し、両者の適合性や実際の設計に適用する場合の留意点などを述べる。

(1) 水平載荷試験によるK値の算出

水平載荷試験の荷重と変位から、K値が深さによらず一定で、根入れ長を半無限長として算出されたK値（逆

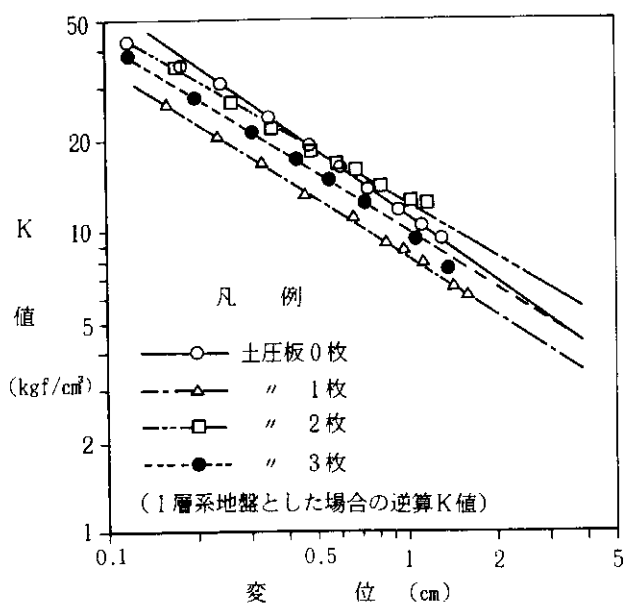


図-6 逆算 K 値

算K値)と変位の関係を両対数グラフを用いて図-6に示す。この結果、土圧板の設置枚数ごとのK値は変位に反比例するという一定の関係がみられ、水平載荷試験は的確に行われたと判断できる。しかし、K値の分布は、土圧板の設置枚数とは比例的になっていない。試験箇所は、地盤強度が一定であることが望ましいが、現地調査のために地盤強度に多少の変化があり、試験アンカー1本ごとのK値に差が生じたものと考えられる。

(2) 地盤の調査結果によるK値の算出

鋼管アンカーは根入れ長も短かく、さらに水平抵抗に關与する地表面からの深さは $1/\beta$ ($\beta = \sqrt{KD/4EI}$) と限られている。このため、K値の算出は限られた調査結果によって求めることになる。

試験区域内の2カ所で実施した貫入試験による土質柱状図とN値の分布を、図-7に示す。当箇所の土質は粘性土が主体であるが、礫の混入によりN値に若干のバラツキが見られる。地表面から杭の水平抵抗に關与する深

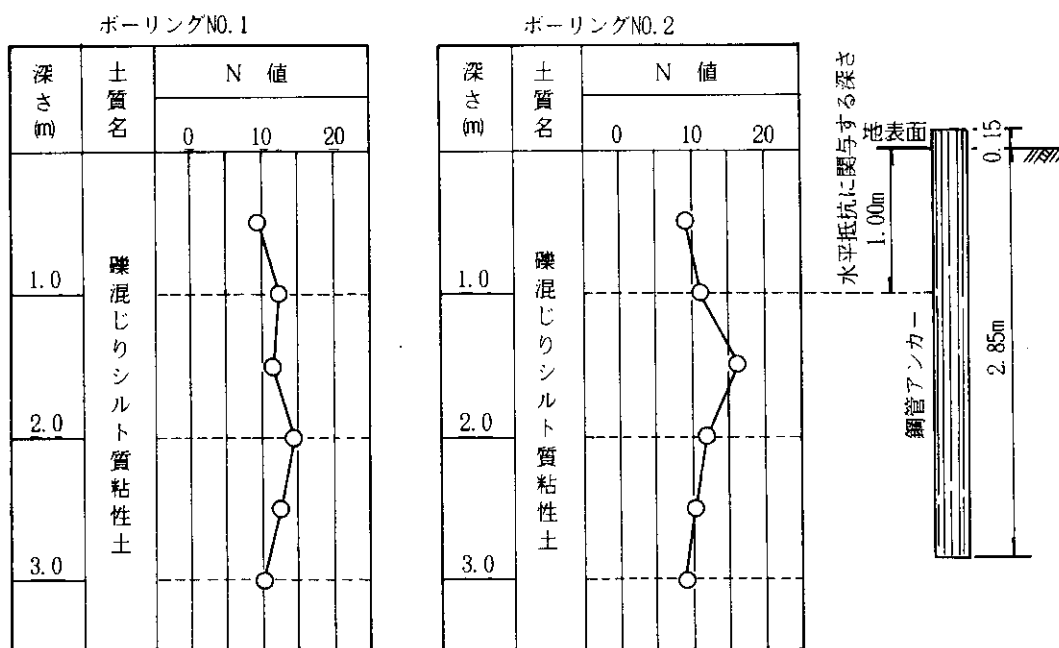


図-7 土質柱状図

表-2 K値の比較

水平載荷試験の結果		標準貫入試験より求めた結果	
土圧板枚数	逆算 K 値 (kgf/cm²)	ボーリング No.	N値から推定した K値(kgf/cm²)
土圧板 0 枚	11.5	No. 1	8.1
土圧板 1 枚	7.6	No. 2	7.2
土圧板 2 枚	9.9		
土圧板 3 枚	7.0		

備考 1) 変位量1cmの場合である。
2) 土圧板1~3枚の場合は、2層系地盤として求めた逆算K値である。

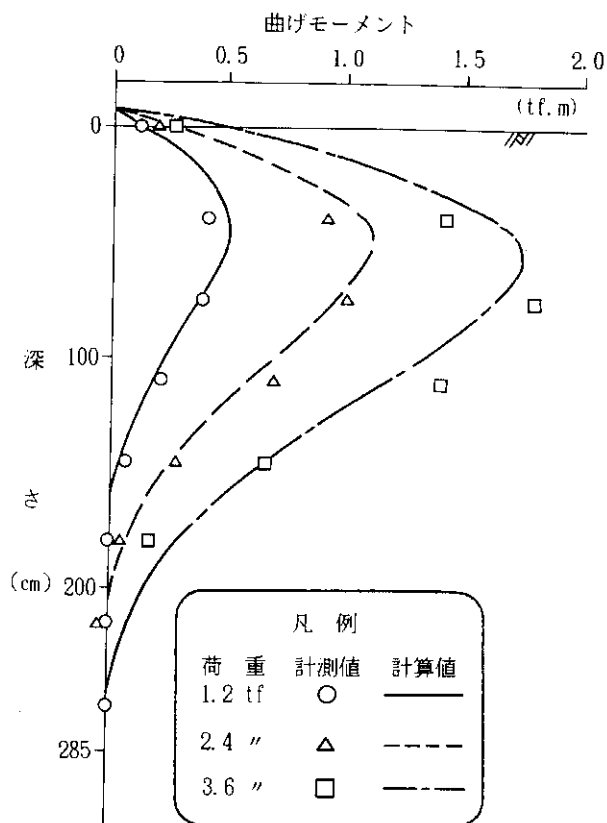
さ1.00 m程度までの平均N値から、「道路橋示方書」⁴⁾に示されている方法 ($K_0 = \alpha E_0 D^3$) によりK値を推定し、その値と水平載荷試験の結果求める逆算K値とを比較した結果を表-2に示す。N値から推定したK値は、8.1および7.2kgf/cm²であり、N値の微妙な違いによって1 kgf/cm²の差が生じている。

水平載荷試験の結果から求められた逆算K値と比較すると、土圧板を1～3枚設置した場合の逆算K値は、平均N値から求めたK値とほぼ近似した値が得られている。しかし、土圧板を設置しない鋼管アンカーの場合は、逆算K値11.5kgf/cm²戸大きく現われている。原因として、礫の混入により水平載荷試験の結果に影響したものと考えられる。

今回の水面載荷試験の結果と地盤の調査結果から求めたK値を検討すると、アンカー長さや口径など基礎杭と異なるため、地盤の強度変化による影響の大きいことがうかがえる。

このため、アンカーの水平支持力の決定に用いるK値の算出は、いずれの結果を用いる場合も、施工本数に見合った試験調査の回数や位置の選定を適切に行い、地盤強度の変化による影響を考慮して検討する必要があると考えられる。

2.3 鋼管アンカーの挙動



土圧板0枚 (1層系)

図-8 曲げモーメント

水平載荷試験により算出されたK値を用いて、基礎杭と同様、弾性床土のはりとしてアンカーの深さ方向の曲げモーメントの計算を行う。アンカー長は $\beta l > 3$ (β ; 杭の特性値, l ; 杭長) 確保されていることから、アンカーを半無限長の杭として扱う。曲げモーメントの計測値は、鋼管に取りつけたひずみゲージの値を換算して求めた。

算出された深さ方向の曲げモーメント分布の計算値と計測値を比較し、図-8に示す。計算値と計測値は、各荷重階段ともほぼ一致したモーメント分布である。この結果、鋼管アンカーは弾性床土のはりとして水平支持力を算出できると考えられる。

2.4 鋼管に土圧板を設置したアンカーの挙動

鋼管に土圧板を設置したアンカーの検討は、前述の基本方程式により、地盤を1層系とした場合と地盤を2層系とした場合の2方法により行う。

(1) 地盤を1層系とした場合

土圧板を取りつけた3ケースの、それぞれの水平載荷試験によるK値を用いて計算した曲げモーメントと計測値を比較して図-9に示す。3ケースとも、全体的に計算値と計測値はほぼ一致する曲げモーメント分布を示した。この結果、鋼管に土圧板を設置したアンカーの水平支持力は、水平載荷試験の結果求めるK値を用い、土圧板設置部分もそれ以深の鋼管部分も一定の地盤反力とした1層系地盤として算出できると考えられる。

(2) 地盤を2層系とした場合

土圧板設置部分は、それ以深の鋼管部分よりも載重幅が大きい。このため、水平力が作用したときのアンカーの挙動は、土圧板設置部分の地盤反力が鋼管部分よりも大きいものと仮定し、2層系地盤として計算できると考えられる。

計算に用いるそれぞれのK値は、水平載荷試験の結果から求めるが、その比率は載荷幅; D^3 に比例すると考え、K値が鋼管部分の1.72倍大きいものとみなしとして計算する。

2層系地盤とする曲げモーメント分布の計算値を、計測値と比較して図-9に示す。3ケースとも1層系地盤による曲げモーメント分布と同様、ほぼ一定した曲げモーメント分布を示した。

以上の結果、鋼管に土圧板を設置したアンカーは、地盤を1層系または2層系とするいずれの場合も、水平支持力の算出が可能と考えられる。特に、地盤を2層系とした場合の計算手法の有用性が確認されたことによって、計算に用いるK値の算出は地盤の調査結果を用い、載荷幅を考慮して推定することが可能となる。このため、各現場において、鋼管に土圧板を設置したアンカーの設計は、地盤の調査結果 (N値) を用いて簡便に行うことが

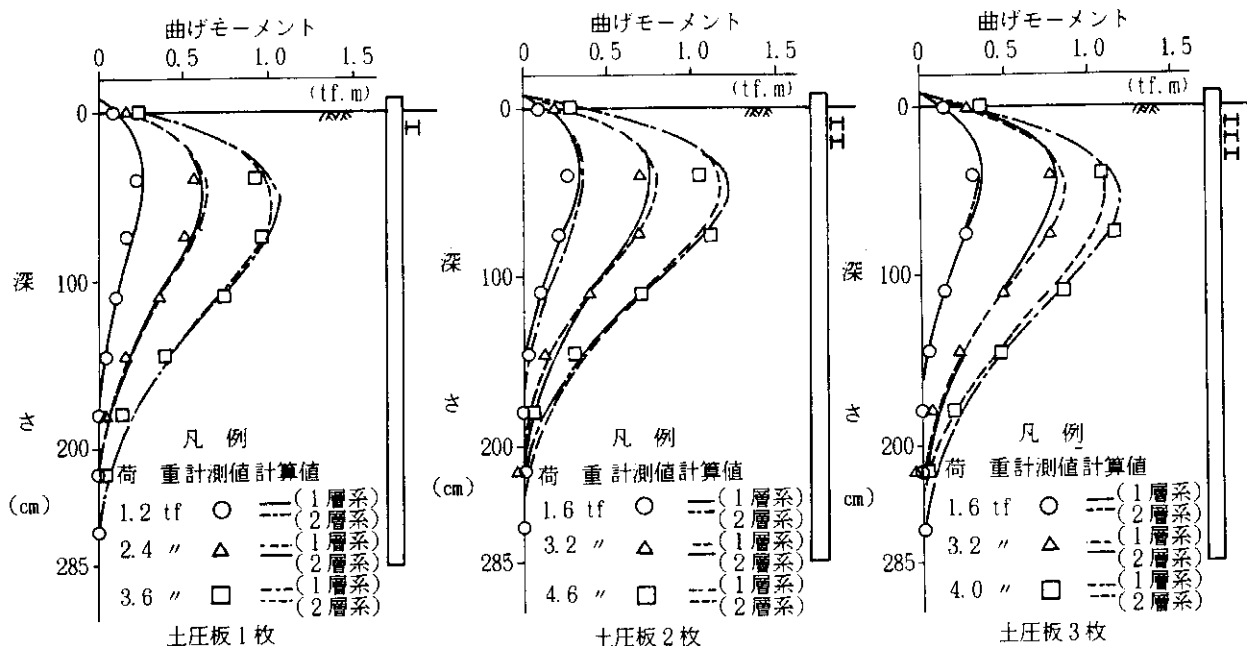


図-9 曲げモーメント図

できる。

なお、新「道路橋示方書」⁶⁾による方法は、土圧板設置部分のK値を推定するときに必要な断面二次モーメントの算出が不可能なため、同書によることができなかった。このため、本文はすべて旧「道路橋示方書」に統一して述べている。

3. 土圧板の設置効果

鋼管アンカーと鋼管に土圧板を1～3枚設置したアンカーの試験結果から、土圧板設置枚数によって異なる水平支持力の効果を検討する。

水平載荷試験により求められたK値はそれぞれ異なるため、試験結果から直接水平支持力の効果を検討できない。このため、K値(地盤強度)を一定と仮定して計算によって比較を行う。計算は前述のように、土圧板設置部分の地盤反力が鋼管部分よりも大きいものと仮定する2層系地盤とし、アンカー地中部の曲げモーメント分布の最大値が、許容応力度(長期強度)に達するときの荷重を地盤強度N値ごとに算出し、この結果を比較する(図-10)。土圧板を1枚取りつけた場合は、土圧板を取りつけない場合と比べて荷重約10%増加している。しかし、1枚と2枚では2%前後、2枚と3枚では効果は変わらない。原因として、水平抵抗に關与する地表面からの深さは $1/\beta$ 程度とされているが、土圧板の設置効果が顕著に現われる深さには限度があると考えられる。

以上のように、計算により求められた土圧板設置による水平支持力は、1枚取りつけた場合10%程度増加するが、これ以上取りつけても設置効果は顕著に現われてい

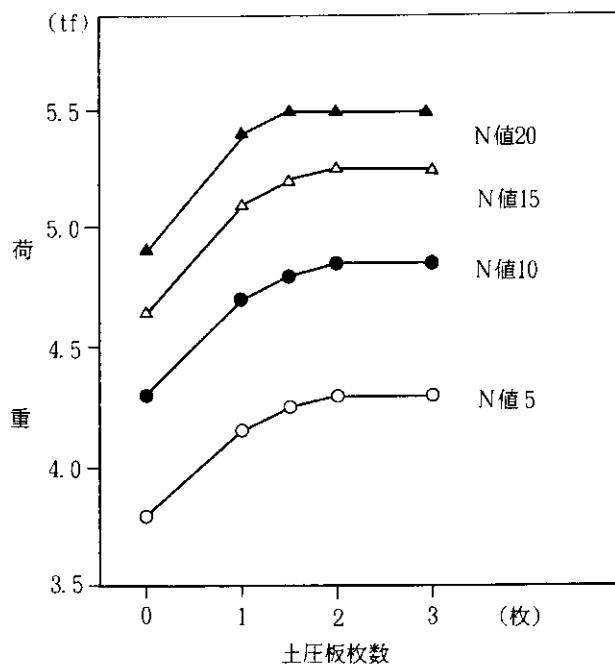


図-10 許容荷重と土圧板枚数の関係

ない。

4. アンカーの引張試験の結果

吊棚に作用する雪圧は、ワイヤーロープを通じてアンカーに伝えられる。通常斜面方向の力は、水平力と鉛直力の分力として考えることができる。アンカーについても施工位置との関係によって、同一の傾向を示すと考えられたため、引張試験を行い確認した。試験は図-11に示すように、のり頭から2.5m後部に施工されたアンカー

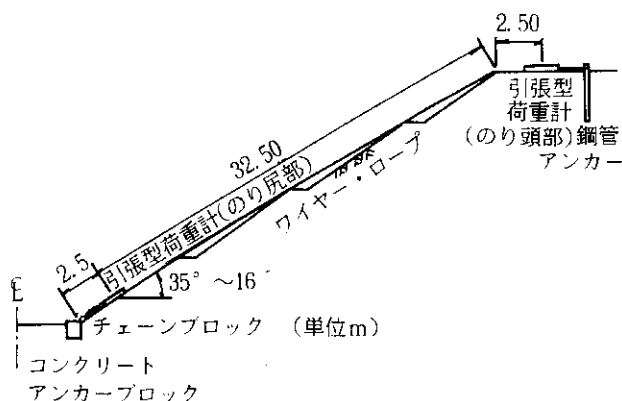


図-11 引張試験装置図

表-3 引張試験による計測値と計算値の比較

計測された斜面 方向の荷重 (tf)	計算により求め られた水平分力 (tf)	計測された水 平分力 (tf)	水平分力の 計測値 計算値
1.22	1.00	0.92	0.92
1.79	1.46	1.37	0.94
2.44	1.99	1.88	0.94
3.05	2.49	2.43	0.98
3.60	2.94	2.87	0.98
4.23	3.45	3.41	0.99
4.81	3.93	3.86	0.98
5.40	4.41	4.31	0.98
6.04	4.93	4.77	0.97
6.69	5.46	5.29	0.97
7.24	5.91	5.63	0.95
7.83	6.39	6.04	0.95
8.44	6.89	6.42	0.93
8.81	7.19	6.94	0.96

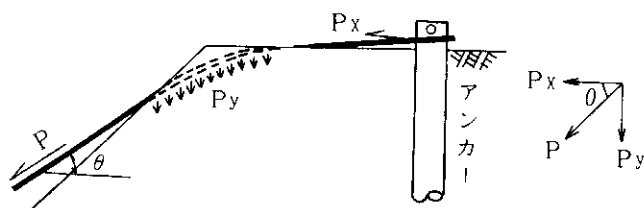


図-12 のり頭後部にアンカーを施工した場合の荷重の作用形態

にワイヤーロープを掛け、のり尻部のチェンブロックにより張力を加えた。また、チェンブロックおよびアンカーに近接して引張型荷重計を設置し、ワイヤーロープに作用する張力(引張荷重)を測定した。のり頭部の荷重計はのり頭後部の水平地盤に設置し、水平荷重を計測できる配置とした。

各荷重階段におけるのり尻部の荷重計の計測値を、ワイヤーロープ勾配によって水平分力を計算し、のり頭部

の荷重計の計測値と比較して表-3に示す。この結果、計測値は計算値の92~98%となり、ほぼ一致する値が得られた。また、鉛直力はのり頭付近の地盤が分担していると考えられ、地盤へのワイヤーロープのメリ込みが見られた。

したがって、のり頭後部2.5m程度にアンカーを施工した場合の水平支持力は、ワイヤーロープに発生した斜面方向の荷重の内、その鉛直分力はのり頭付近の地盤が分担し、アンカーにはその水平分力が作用するものとして計算できると考えられる(図-12)。

5. まとめ

吊棚、吊枠に用いられている鋼管アンカーおよび鋼管に土圧板を設置したアンカーの水平載荷試験、引張試験によって、次の結果を得た。

(1) 鋼管アンカー水平支持力は、横方向地盤反力係数K値を用いた弾性床上のはりとして求めることができる。試験結果は、水平載荷試験から求めたK値を用いた計算値と計測値の曲げモーメントがほぼ一致し、基礎杭と同様の解析方法による適合性が確認された。

しかし、水平載荷試験による各ケースごとK値および地盤調査(N値)結果から推定したK値は、やや異なる傾向を示している。このため、K値の算出にあたっては、いずれの方法による場合も地盤強度の変化による影響を考慮して決定する必要がある。

(2) 鋼管に土圧板を設置したアンカーの水平支持力は、地盤を1層系または2層系とし、いずれの場合も次に示す手法によって求めることができると考えられる。

地盤を1層系とした場合は、水平載荷試験によるK値を用いる必要がある。また、地盤を2層系とした場合のK値は、水平載荷試験および地盤の調査結果のいずれも用いることができるが、土圧板設置部分と鋼管部分の載荷幅を考慮しK値の比率を求め算出する。

(3) 鋼管土圧板を設置したアンカーの効果は、計算上の結果ではあるが、設置しない場合よりも10%程度増加し、設置枚数を1枚以上に増加しても顕著な効果は認められない。

(4) 今回の引張試験は、アンカーの施工位置がのり頭より2.5m後部にあり、斜面方向荷重の水平分力のみが作用した。しかし、このような荷重形態を示すアンカーの施工位置は、地盤強度によって異なると考えられ、今後検討の必要がある。

(5) 鋼管および土圧板の施工は、鋼管の掘削孔や土圧板の埋戻しを発泡モルタルなどで充填し、原地盤と同程度以上の地盤強度を確保する。これは、鋼管や鋼管に土圧板を設定したアンカーの水平支持力を、確実に推定する上で必要である。

あとがき

アンカーの適切な耐荷力の決定は、雪崩発生を防止する基礎となるものである。今回の検討によって、鋼管および鋼管に土圧板を設置したアンカーの水平支持力の算出が、ほぼ可能になったと考えられる。今後、アンカーに作用する雪圧の大きさと経時的な変動特性などの調査を、継続していきたいと考えている。

鋼管アンカーは吊柵・吊枠のアンカーとして、また落石防止網用のアンカーなどに広く用いられるものと考えられ、本報文が設計、施工の参考となれば幸いである。

最後に、本調査に御協力いただいた札幌開発建設部幌加内道路建設事業所の皆様に対し、謝意を表する。

参考文献

- 1) 日本建設機械化協会；新編防雪工学ハンドブック，昭和63年3月。
- 2) 土質工学会；杭の水平載荷試験方法・同解説，昭和58年10月。
- 3) 土質工学会；杭基礎の調査・設計から施工まで，昭和58年10月。
- 4) 日本道路協会；道路橋示方書・同解説 下部構造編，昭和55年5月。
- 5) 日本道路協会；道路橋示方書・同解説 下部構造編，平成2年2月。

*

*

*