

抑止工における永久アンカー工の今後の問題と対応について

長谷川 泉*

はじめに

防止対策の抑止工として永久アンカー工法が採用される場合が非常に多くなってきており、現状では永久アンカーとして年間400~500件程度が施工されている。これは今までに施工された多くの実績と研究の成果から改良を加えながら現場に取り入れ、アンカーに対する信頼性が高まったこと、アンカーを採用する事により、より経済的な施工が考えられるようになったことである。しかしながら、近年過去に打設された永久アンカーが危険な状態にさらされているアンカーが時々見受けられる。今後の永久アンカーを考えた場合、再度設計施工の面から全体を見直し、維持・管理を考えなければならない時期

2. 永久アンカーの施工に対する今後の問題と対応について

3. 永久アンカーの計測・管理システムに対する今後の問題と対応について

急傾斜地保全対策(崩壊防止工事)地すべり対策事業, 河川, 砂防, ダム, トンネル関連事業, 道路

3. 永久アンカーの計測・管理システムに対する今後の問題と対応について

急傾斜地保全対策(崩壊防止工事)地すべり対策事業, 河川, 砂防, ダム, トンネル関連事業, 道路
法面保全対策事業等, 防止対策の抑止として永久的なアンカー工が採用される場合が非常に多くなって来ている。

永久アンカーに対する依存度が高くなって来ている現状を考えると、現在の設計、施工、将来的な計測・管理システム等が充分満足していたかと判断した場合種々な面で技術解明の困難なものがある。今後さらに重要視される永久アンカーの役割を考えると、設計、施工、施工後何十年間の管理等に対して、さらに研究開発を進める必要がある。

1. 設計に関する今後の対応について

a) 現在設計されているアンカーの機能・効果には大別して「締めつけアンカー」と「引き留めアンカー」がある。締めつけ機能とは、すべり面上にアンカープレストレスによる垂直応力を発生させ、これによりすべり面上のせん断抵抗を増やそうとするものである。

引き留め機能とは、すべろうとする土塊・岩塊をすべり接線方向へ引き留めようとするものであり、それぞれ次の如く表わせめる。

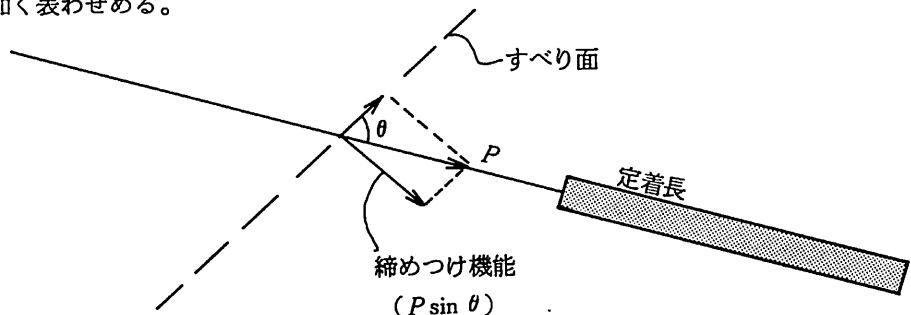


図-1 締めつけ機能(すべり面の勾配が急な場合)

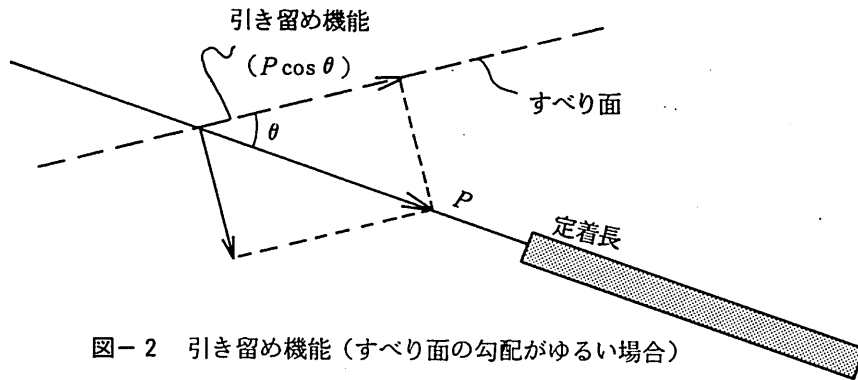


図-2 引き留め機能 (すべり面の勾配がゆるい場合)

これらの2つの機能をどのように使いわけるかは、1つの問題点である。

主として締めつけ効果を期待してアンカーを用いる場合には、すべり面の勾配が急ですべり面の位置が比較的浅い場合が多い。アンカーは一般に水平に近い角度で打設される事が多いので下図のように引き留め効果は小さくなり、安全側を考慮して無視することが多くなってきている。

締めつけ機能を期待するアンカーでは、初期緊張力として設計アンカー力に近い値を導入する(80%~100%)ことが多い。

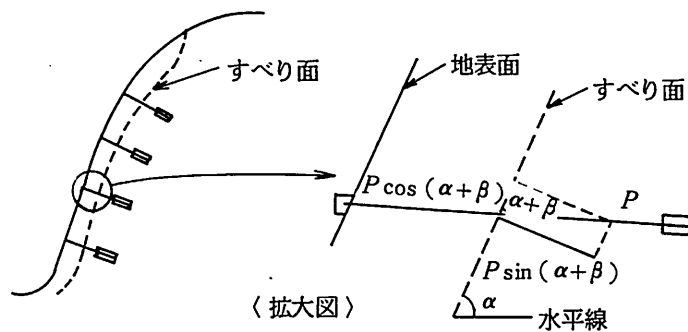


図-3 (日本道路協会・道路土工・のり面工・斜面安定工指針より)

引き留め効果を期待してアンカーを用いるのは、すべり面の勾配が緩やかですべり面が比較的深い場合が多い。この場合アンカーの締めつけ機能は小さくなり、これを無視することが多くなってきている。引き留め効果を期待するアンカーには、ほとんどプレストレスを導入しないことが多いがアンカーが有効に働きます前に、すべり土塊がすべり面に沿って運動し始めることを考えると、20%~30%程度の導入力は必要である。

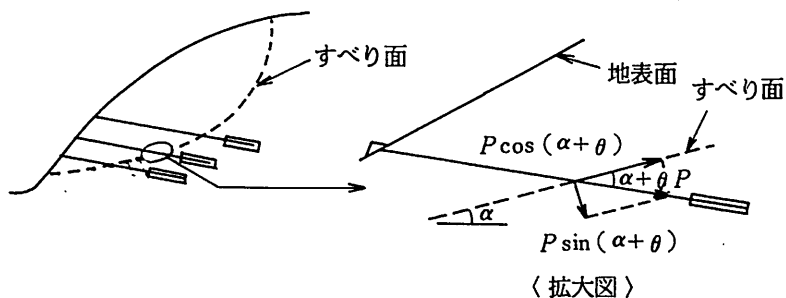


図-4 (日本道路協会・道路土工・のり面工・斜面安定工指針より)

以上の如く、締めつけ機能に期待するアンカーは手働的、引き留め機能に期待するアンカーは受働的な効果を与えるものである。

b) 「締めつけ機能」と「引き留め機能」を設計におけるアンカーの効果としての考え方を現在使用されている式により表すと次の如く表される。

c) 設計におけるアンカー効果の考え方

(1) 考え方の基本

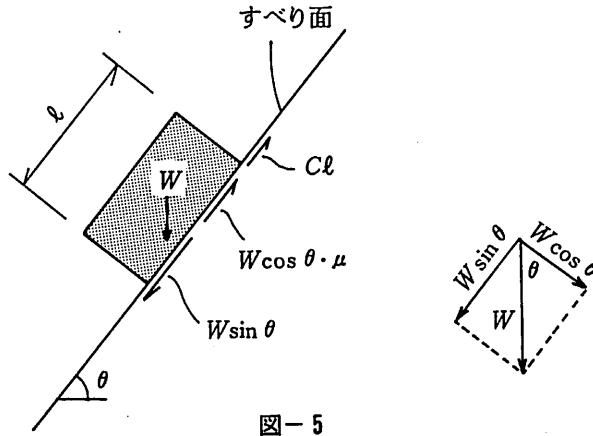


図-5

上図はすべり面に土塊が載っている状態を概念的に表したものである。この土塊のすべりに対する安全率は次式(1)で表される。

$$F_s = \frac{R}{S} = \frac{W \cos \theta \cdot \mu + C \cdot L}{W \sin \theta} \dots\dots (1)$$

- ここで、 R : すべり抵抗
 S : すべり力
 μ : 摩擦係数 (土と土の場合 $\tan \phi$)
 L : すべり面長
 θ : すべり角度
 C : 粘着力

このすべり土塊をアンカーでおさえることを考える。

アンカー力 P がすべり面上の垂線にたいして α の角度で打設されたとすると、この土塊の安全率 F に基本的には2つの考え方がある。

$$F = \frac{R + \Delta R}{S} = \frac{W \cos \theta \cdot \mu + C \cdot L + P \cos \alpha \cdot \mu}{W \sin \theta - P \sin \alpha} \dots\dots (2)$$

$$F = \frac{R + \Delta R}{S} = \frac{W \cos \theta \cdot \mu + C \cdot L + P \cos \alpha \cdot \mu + P \sin \alpha}{W \sin \theta} \dots\dots (3)$$

(2)式はアンカーによりすべり力が減少したとする見方に基づくもので、(3)式はアンカーによりすべり抵抗力が増えたとする見方に基づくものである。(2)、(3)式の $P \sin \alpha$ を分母にもってくるか、分子にもってくるかで安全率は若干異なる。

現在のところ、上式に関して統一された規準等はない。

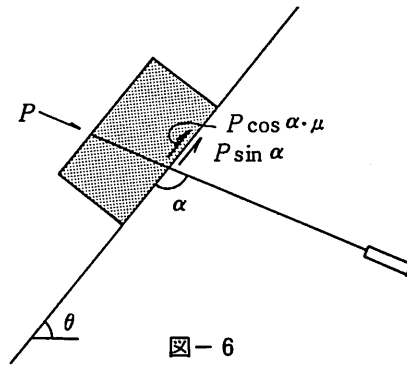


図-6

(2) 締めつけアンカー

締めつけ機能に期待するアンカーでは(2), (3)式の $P \sin \alpha$ の項は省かれる。従って, (2), (3)式はともに(4)式で表される。

$$F_o = \frac{R + \Delta R}{S} = \frac{W \cos \theta \cdot \mu + C \cdot L + P \cos \alpha \cdot \mu}{W \sin \theta} \dots\dots(4)$$

これより, 締めつけアンカーの必要プレストレスは(4)式より

$$P = \frac{F_o \cdot W \sin \theta - W \cos \theta \cdot \mu - C \cdot L}{\cos \alpha \cdot \mu} \dots\dots(5)$$

最小のプレストレスで最大の抑止効果を得るためには分母が最大になったとき, 則ち $\alpha = 90^\circ$ のときである。これは, 言い換えると「締めつけアンカーはアンカー軸をすべり面に垂直になるようにすればよい。」ということになる。

(3) 引き留めアンカー

引き留め機能に期待するアンカーでは, (2), (3)式の $\cos \alpha \cdot \mu$ の項が無視される。

(2)式より

$$F_o = \frac{W \cos \theta \cdot \mu + C \cdot L}{W \sin \theta - P \sin \alpha}$$

これより

$$P = \frac{F_o W \sin \theta - W \cos \theta \cdot \mu - C \cdot L}{F_o \sin \alpha} \dots\dots(6)$$

(3)式より

$$F_o = \frac{W \cos \theta \cdot \mu + C \cdot L + P \sin \alpha}{W \sin \theta}$$

これより

$$P = \frac{F_o W \sin \theta - W \cos \theta \cdot \mu - C \cdot L}{\sin \alpha} \dots\dots(7)$$

ここで F_o : 計画安全率

P : 設計アンカー力

(6), (7)式を比較すると, 分母の計画安全率の有無が異なるが, 通常 $F_o > 1.0$ であるので(6)式の設計アンカー力のほうが(7)式より小さくなる。則ち, 引き留めアンカーでは $P \cos \alpha$ の項を分母におく方が設計アンカー力が小さくなる。

(6), (7)式よりアンカーはすべり線に沿って打設すれば一番効果的であるが、事実上このようなことは無理である。したがって引き留めアンカーは許される範囲内（たとえば水平に対して10°以下を除く。）でなるべくすべり面接線に近い角度で打設すればよいと言える。

(4) アンカー効果と現実の対応

私達が日常扱うアンカーの多くはこの締めつけ効果と引きとめ効果の両方を同時に見込んだものである。この理由の第一は各々片方の効果を見込むだけでは、設計アンカー力が大きくなるなど工費が増大するためであり、第二に現実にはプレストレスの伝達機構、効果が明確にわかっていないにもかかわらず、これまでこれらを両方見込んででもそれ程問題が生じなかったという経験に基づいている。

$$P = \frac{F_0 W \sin \theta - W \cos \theta \cdot \mu - C \cdot L}{\cos \alpha \cdot \mu + \sin \alpha} \dots\dots\dots \text{(両方見込んだ場合)}$$

しかし、私達が扱うアンカーの中にも問題のあるものが散見されるようになってきた。その中には上記の両方を見込んだことによる設計の過小評価によると思われるものも少なくない。そのような意味で、「締めつけアンカー」と「引き留めアンカー」は今後区別、認識されてくるはずである。

これらは、アンカーの用途、定着地盤の位置、性状などによって厳密に使いわけの必要があり、そのような意味では今後更に高い技術的な知識と対応が必要となる。

建設省土木研究所の中村氏はこの使いわけについて次のように述べている。

「締めつけ用アンカーとして利用できる地盤条件としては、地すべり移動土塊がプレストレスをかけたとき大きな圧密、圧縮変形をしないということが必要である。したがって移動土塊が粘性土や場合によっては崩積土、キレツに富んだ風化岩盤で構成されるような地すべり地には締めつけ効果をアンカーに期待することは無理である。また地すべり移動土塊の性状から判断して締めつけ用アンカーは可能であってもすべり面深度が深い場合にはこの効果の期待は難しい。したがって締めつけ用アンカーを適用できる地すべりはすべり面の内部摩擦角の大きさ等にもよるがすべり面深度が比較的浅い。主として岩盤地すべりであるということがいえる。

一方、ひき止め用アンカーは鋼材の引張り抵抗力を十分発揮させ従来の抑止工では対応できない推力を持つ地すべりに対して用いられ、施工上クイ挿入工が大口径穿孔などから検討して困難な地すべりで利用される。アンカーはコラムあるいは擁壁等の構造物を介して地すべり土塊に作用するが、地すべり末端部からこれら構造物で地すべり土塊がすべりぬけないで、十分引き止められるようにアンカー構造物を配置しなければならない。またプレストレスのかけ方にもよるが、アンカーに設計荷重がかかったとき、構造物とともに地すべり土塊が変位することを当然予測しておかねばならない。その他ひき止め用アンカーは擁壁やクイの補強のためにしばしば用いられる。」

2. 永久アンカーの施工に対する今後の問題と対応について

これまでの永久アンカーは、自由長部に防錆材を入れるなどして対応してきたが、最近になって定着部長の腐食も問題になってきた。これは高い引張り応力下において、定着部長のモルタルまたはセメントミルクに亀裂が入り、ここからの水の侵入により引張り鋼材が錆び、ある期間を経過した後破断に至る恐れがあることが確認されてきたからである。また従来より問題になっているアンカー頭部・アンカー頭部背面についてもさらに研究調査したところ、腐食の可能性が定着長部よりもさらに高いことが確認された。従ってこれからの永久アンカーのシステムは、P・C鋼より線、P・C鋼棒等の張力を要する

主材料に対しては全長にわたって、化学腐食および電気腐食等を防止すべくシーズで被い、二重防食を基本としていることである。

土質工学会基準案『グラウンドアンカー設計・施工基準』（JSF規格：D1-87T）では（来年度8月に発刊予定である）

- (1) アンカーの腐食環境条件については、十分な調査を行い適切な防食方法を選定しなければならない。
 - (2) 永久アンカーは二重防食によることを原則とする。
 - (3) 腐食環境にない永久アンカーの場合および、仮設アンカーの場合は、簡易な防食方法によること出来る。
 - (4) 防食方法はアンカーの使用目的に応じて、アンカー体、引張り部およびアンカー頭部に対し、それぞれに適し、施工中および使用期間中において、防食機能が損なれないものを用いるものとする。
- 以上の通り表されることから、今後永久アンカーの施工（防食）に対する考え方は従来よりさらに前進して長期的な品質の高い永久アンカーを施工する必要性が生じてくる。

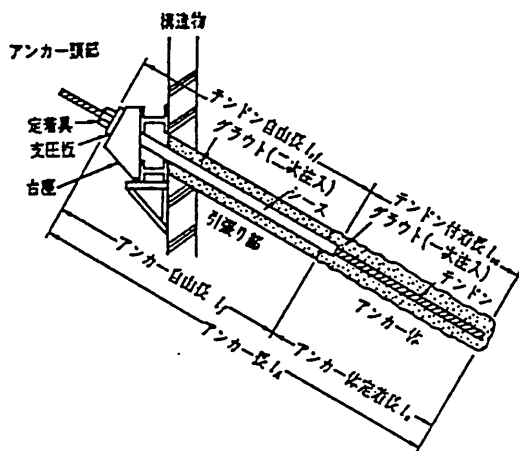


図-7 仮設アンカーの一例（参考）

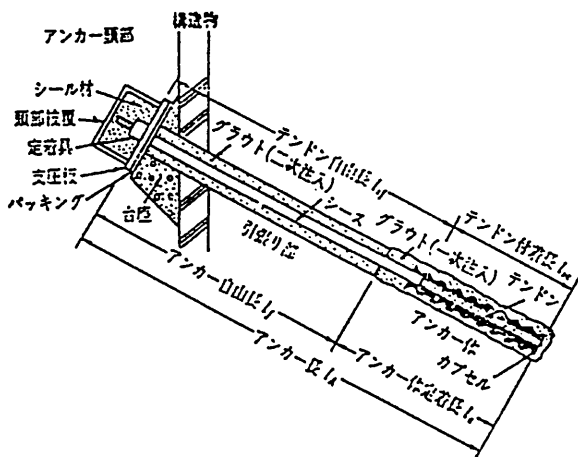


図-8 永久アンカーの一例（参考）

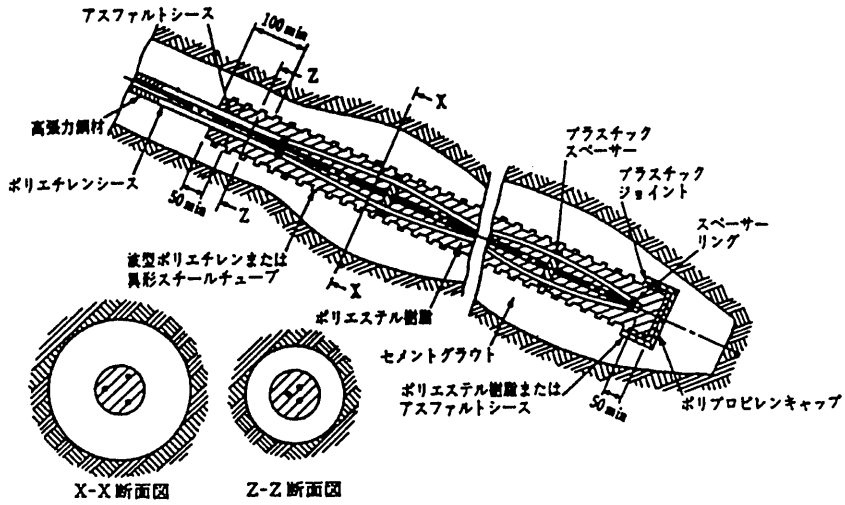


図-9 ストランドによる定着長部

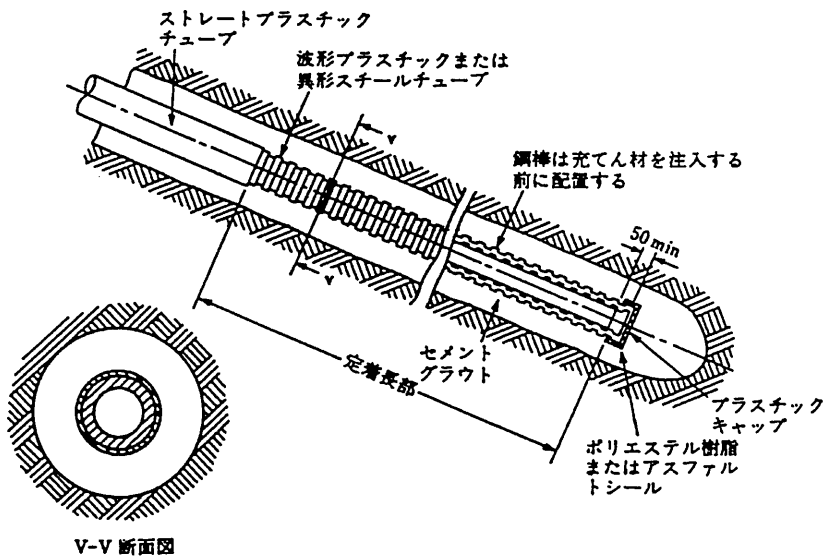


図-10 P.C鋼棒による定着長部

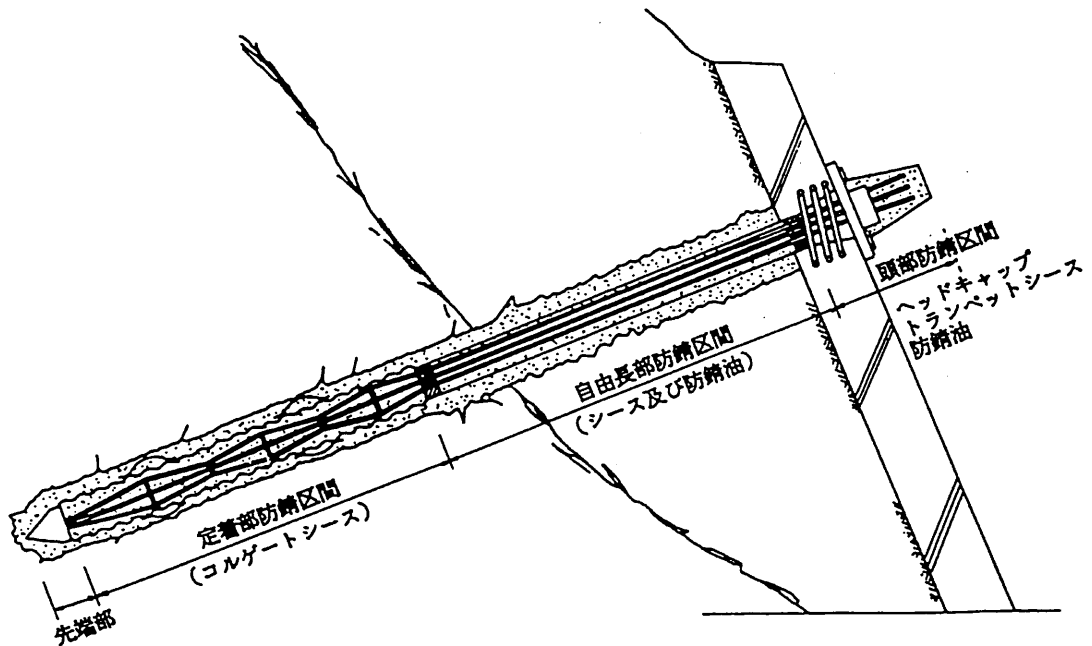


図-11 ストランドによる全長部

3. 永久アンカー計測・管理システムに対する今後の問題と対応について

アンカー工が我が国に導入されてから40年近く経過している。永久アンカーについての実績としては25～30年程度の実績しかなく、今後の調査研究をさらに進めなければならない。しかしながら近年における永久アンカーの依存度を考えると早急に実施しなければならない管理システムの確立が要求されてきている。アンカーされた構造物は、定期的に点検観測および測定を行うことが必要でありアンカーされた構造物およびその周辺に異状が見られた場合には、観測・測定結果から検討し必要に応じて再緊張・緊張力緩和または、アンカーの増し打ち等の処置を講じる必要がある。測定項目としては次の通り表される。

- (1) アンカーに伝達されている荷重及び変位——荷重計と変位計
- (2) アンカーにより崩落、滑落、崖錘部が基盤と緊接されているかどうか——物理探査（電気探査・弾性波探査）により測定する。
- (3) 構造物の変位または変状——鉄筋変位計またはモールドゲージ等
- (4) アンカー頭部の変位及び変状——中性化深度試験・超音波探傷試験等がある。
- (5) 地下水位観測——地下水位調査は地すべり地や急傾斜地においては重要な観測データとなる。

計測・管理システムに必要な点検、観測及び測定はアンカーの使用期間中実施する必要がある。期間中における頻度は、アンカーの使用目的、周辺の環境等を充分検討して実施しなければならない。

参 考 文 献

1. 日本道路協会 道路土工、のり面工、斜面安定工指針
2. 土質工学会 土と基礎、1987、9 vol.35、No 9.