

# 大鳴門橋 5A 法面補強工事

村 上 憲 司\*  
岡 本 泰 臣\*\*

## 1. まえがき

大鳴門橋は、淡路島と四国を隔てる鳴門海峡に建設中の道路鉄道併用3径間2ヒンジ補剛桁吊橋であり、昭和51年7月着工以来順調に工事が進捗し、下部工、塔工事を完了し、現在メインケーブルの架設工事の最盛期を迎えている。本報告は、大鳴門橋5A(図-1参照)施工のための法面掘削施工途上に生じた法面のすべり崩壊(昭和53年7月)の対策工事として施工したロックアンカー工の設計および施工の概要をまとめたものである。

## 2. 補強工に至る経緯

5Aアンカレイジ躯体は、鳴門山の山腹を一部切土することにより構築される。切取法面の地質は中世代白亜紀に属する和泉層群で、砂岩、頁岩の互層で、5A地点においては基岩が数10mの層厚を有する頁岩の優性地層構成であった。切取法面の設計は、本地点が流れ盤の掘削になることから、当初より掘削法面の勾配には配

慮がなされ、標準勾配を1割と規定した。

一方、地盤の走向はN40°E、傾斜は45°SEであるため、橋軸直角方向の法勾配を1割とすれば、法面は流れ盤の裾切りは避けられるとの設計思想であった。切土法面は既往の地質調査結果よりほとんど軟岩以上のランクで構成されているとの判断で、斜面の安定解析については、日本道路協会道路土工指針の切取法面標準勾配(軟岩)0.5~1.2の範囲内であるため省略していた。

法面掘削は設計に従い法肩より機械掘削、人力整形で開始した。使用機械は、ブルドーザ小松D65AR、バックホウ小松20Hである。掘削が軟岩に入っても発破は使用せずリップングによった。

掘削地質の状況は、橋軸直角方向の法面では法肩より薄層の頁岩が推定どおり露出したのに対して、橋軸方向の法面では強度に風化した砂岩優性層であった。

法面掘削の切下がりにつれて小崩落、法肩のクラック発生が頻繁に生じ、その都度工事面積の許される範囲で、勾配変更を実施した。変更勾配を図-2に示す。

この時点では崩壊の原因は表土の性質(道路建設時の

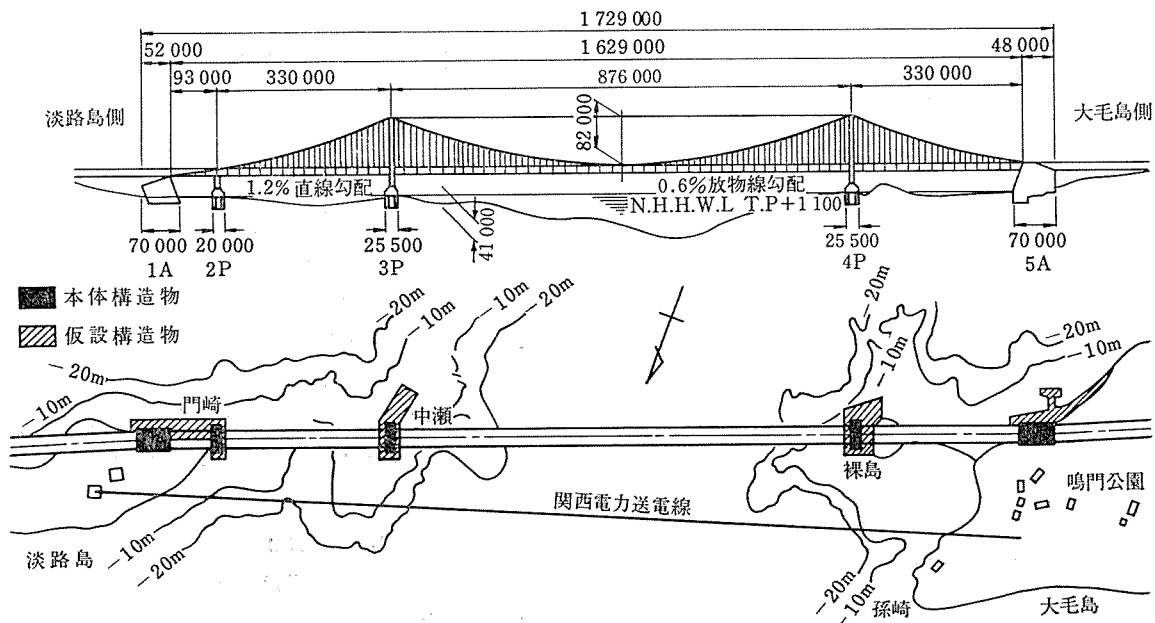


図-1

\* 本州四国連絡橋公団設計第二課長

\*\* 本州四国連絡橋公団設計第二課

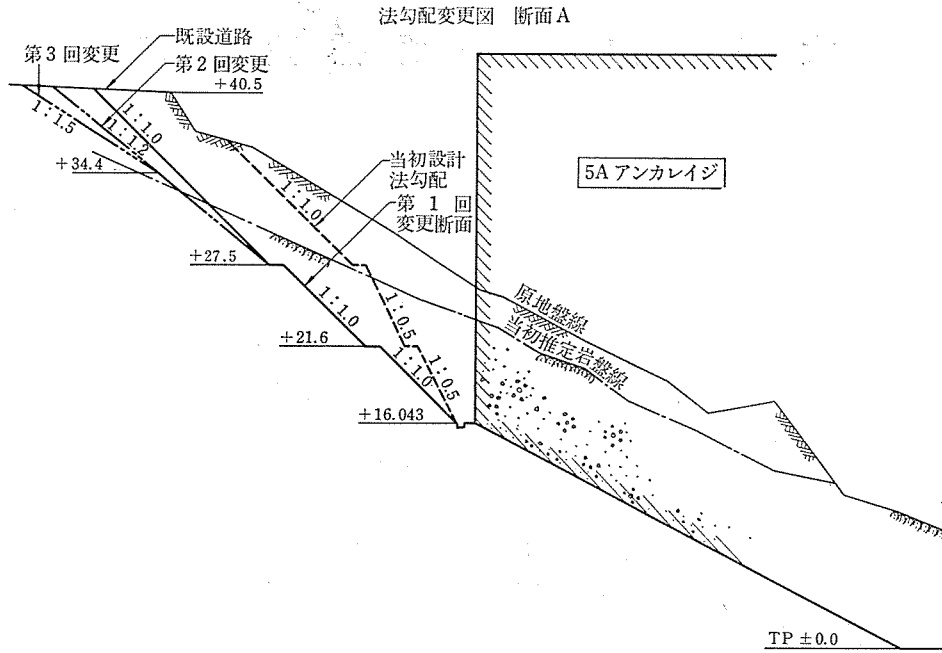


図-2

盛土材)によるものと考えていた。

その後、TP+14.00 盤まで切下がった時に、法肩にクラックが発生し、時間を経ずして滑動する典型的な軟岩の浅層すべりを生じた。崩壊の規模は幅 20 m、法高 17 m で、崩壊土量は 700 m<sup>3</sup> 程度であった(写真-1 参照)。

この法面崩壊によって、法面が現道背面の鳴門山切取斜面と一体化し、これまで 40 m と考えられていた 5 A 法面掘削の法面高が一挙に 75 m まで引き上げられた。

崩壊の原因は次のように推定された。

- 1) 連日晴天の続いた時期に発生したすべりであるので地山自体の強度不足に起因している。
- 2) 法面掘削の設計断面は局部的に複合勾配をなして、1:0.75 という急勾配であったこと。
- 3) すべりの発生断面に地質上の弱線が介在してい



写真-1

た。

### 3. 対策工法

#### 3.1 対策方針

本四公団・鳴門工事々務所において対策会議が開かれ次の事項が確認された。

- 1) 当法面は対策工無しで掘削を進捗させることは非常に危険である。
- 2) 法面の安定解析、工法の選定に関する地質調査が現状では不足している。
- 3) 環境保全等の制約条件により、現在の工事範囲を越えて鳴門山の切取工事を実施できないことから、法面の地形、地質、構造物の施工条件等を勘案し、綿密な設計、施工計画が必要である。
- 4) 当面の対策として、鳴門山の斜面をロックボルトで下層へ縫い付けるとともに、モルタル吹付け等の法面の雨水対策を十分に実施する。
- 5) すべりに対する計測体制を早急に確立する。

#### 3.2 当面の対応策

##### (1) 鳴門山のロックボルト工

鳴門山の部分的な崩壊を防止するために長さ 5.0 m のロックボルトを施工した(写真-2 参照)。

削孔径	46 mm
ロックボルト	D32
間隔	1 500 mm 千鳥配置

##### (2) 雨水対策

排水工、クラック発生箇所の養生および施工済法面のモルタル吹付け工を実施した(写真-3 参照)。

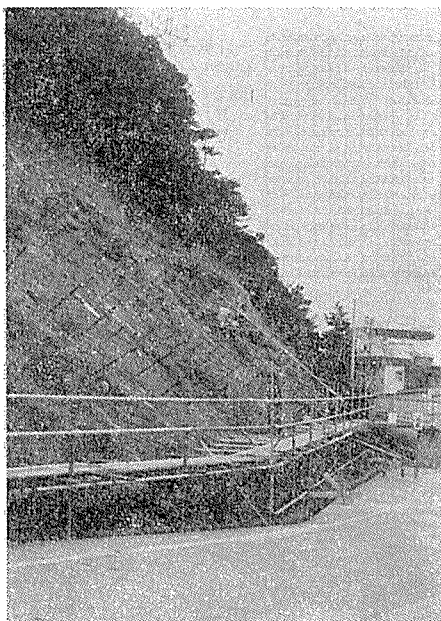


写真-2

(3) 地質調査および計測体制

法面補強対策を検討するうえで、目的に合致した地質調査は不可欠であり、既往のデータのみでは情報量が不足していることは先の対策会議で指摘されたとおりである。これまでの地質調査は、アンカレイジの支持力、変形係数を求めるために重点が置かれていたため、ここに特に法面の安定解析に必要なデータを得る目的で7本のボーリングを行い詳細な地質横断図を作成した。

また、今後の地すべり発生の可能性、規模の予知、施工中の安全確保、隣接構造物（民家、道路、保全区域）

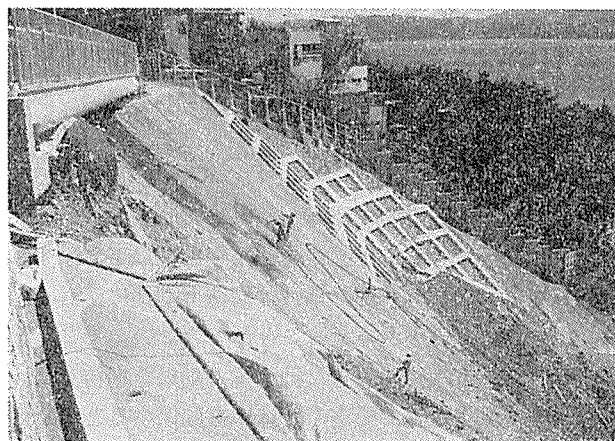


写真-3

の安全度の確認、さらには法面補強対策工の効果を追跡するために表-1の現場計測を実施した。

表-1

対象	計測手法	
地すべり範囲	地盤傾斜計	
地すべり移動量	伸縮計	
地すべり面	位置	パイプひずみ計
	移動量	伸縮計
	すべり面土質強度	土質試験
地すべり地の地下水	水位	水位計
	地下水流路	垂直検層
地すべり土圧内部応力	土圧計	
地すべり防止工の効果・挙動	ひずみ計	

(4) 工法選定

対策工法についてその施工法、断面形状、問題点を比

表-2

工 法	施 工 法	断 面 形 状 ほか	問 題 点
ロックボルト	ロックボルト工法は、浅層すべり、表層滑りに効果的で、5A法面全体の安定を目的とするのではなく、既設の鳴門山法面の安定を図るために施工する。	(ロックボルト仕様) ロックボルト D32×5000 配置 1500 千鳥 削孔径 φ46 グラウト必要	○鳴門山法面は工事範囲外であり、環境保全の兼ねあい、外見的に目立たない当工法が適当である。
ロックアンカー	基岩であるマシブな頁岩への定着を考慮したロックアンカーを法面に施工する。ロックアンカーの間隔は3.0m×3.0mとし、紙定版は厚さ500mmの鉄筋コンクリートスラブで、逆巻きで打設しながら設計盤まで法面掘削する。	(ロックアンカー仕様) 設計荷重 130 t アンカー平均長 22000 mm アンカー定着長 5000 mm 本数 420 本 アンカー角度 水平下向き 30°	○すべり面の位置を適確に推定する。 ○定着部の岩質が位置によりバラツキがあるため、設計強度の確認が必要。 ○法面の支持力、変形挙動の推定。
地すべり防止杭工	掘削時の安定を図るために、前面に盛土し、φ3.0mの深礎杭を5.0m間隔で8本頁岩層まで掘削する。そして杭頭部をロックアンカーで基岩に定着した後、法面掘削を完了する。	(深礎杭仕様) 径、材質 φ3000 の鉄筋コンクリート 最大作用モーメント 2170 tm/本 配筋 80-D41 (ダブルリング) 杭頭部ロックアンカー設計荷重 270 t	○施工中の安全性のチェックが必要で、ロックアンカーによるすべり防止が前提条件となる。 ○発破掘削が必要。
オープンケーソン	現地盤で受働土圧が期待できる範囲まで築島するとともに、法面にロックアンカーを施工して、ケーソン掘削中の小規模な崩落を防止する。そして22.5m×20.0mの隔壁を有するオープンケーソンを基岩層まで沈下させる。	(オープンケーソン仕様) 形状 22000×20000×16000 H 材質 鉄筋コンクリート コンクリート体積 本体 2060 m³ 中詰 1210 m³	○滑動抵抗力を増すために底部にせん断キー必要。 ○アンカーフレーム、支持フレーム組立時に障害となる側壁、隔壁の撤去が必要。 ○築島材が必要。 ○大規模な機械掘削が昼夜可能。

報 告

較したものを表-2 に示す。

対策工法としては、ロックアンカー工と地すべり防止杭の併用工法を採用した。すなわち、3.0 m 間隔で設計荷重 60 t のロックアンカーを施工し、現場打ちコンクリート格子枠を介して、マッシュな基岩層に定着するとともに、法面中段位置に鋼管建込み式の抑止杭 φ610mm を 30 本構築する。併用工法の採用理由を以下に示す。

- 1) ロックアンカー工のみでは構造上剛性に乏しく地山の变形量を小さくすることができないので 2 重鋼管から成る剛性の大きな抑止杭の効果を期待した。
- 2) 単一工法のみで所定の安定率を確保すると、断面が大きくなり不経済かつ施工上に問題を生じる。

4. 法面補強工の設計および施工

4.1 設計条件

(1) 土質定数

地質調査の結果より、各断面でのマッシュな頁岩層の深さはほぼ一律に 10~12 m 程度であり、その頁岩の上盤となる砂岩および頁岩の互層は弱層となりすべり領域と考えられる。そこで、このすべり領域の地質を均一な土質定数を有するものとして、その値を「本州四国連絡道路に係る道路土工指針のための調査報告書」および土質試験等により次のように定めた。

- 単位体積重量  $\gamma = 2.0 \text{ t/m}^3$
- 内部摩擦角  $\phi = 25^\circ$
- 粘着力  $c = 1.5 \text{ t/m}^2$

(2) すべりに対する安全率

ロックアンカーの効果と抑止杭の効果を合わせて 1.2 以上の安全率を有することとする。

4.2 円弧すべりの計算

標準断面において、対策工なしで設計法勾配 1 割で最終掘削盤の TP±0.0 まで掘削したと仮定した場合の円弧すべりに対する最小安全率を下記のように計算する。

(1) 計算方法

単純円弧すべり面法により、中心点および半径を与えて最小安全率を計算する。

$$\begin{aligned}
 \text{安全率 } S_f &= \frac{\text{抵抗モーメント } M_R}{\text{起動モーメント } M_A} \\
 &= \frac{\sum (c \cdot l + w \cos \theta \cdot \tan \phi)}{\sum w \cdot \sin \theta}
 \end{aligned}$$

ここで、

- $w$ : 分割片の重量
- $c$ : 土の粘着力
- $\phi$ : 土の内部摩擦角

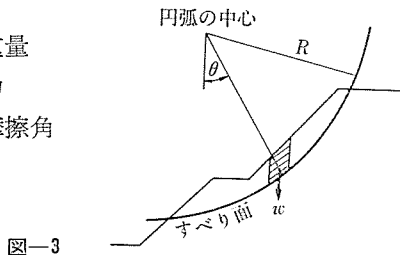


図-3

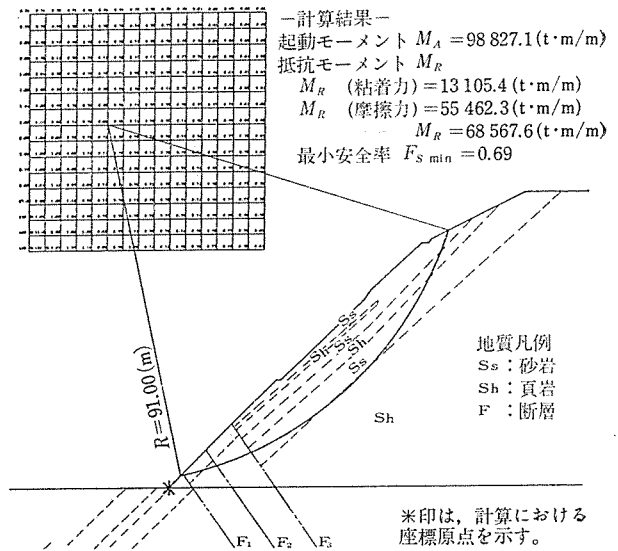


図-4

(2) 計算結果

掘削完了時の状態での円弧すべりの計算で最小安全率を示す円弧は図-4 に示すとおりである。

また同図に示す地質構造より以下のことがわかる。

- 1) 地質構造的に、基岩であるマッシュな頁岩の上に位置する砂岩と頁岩の互層はすべり領域と考えられるが、計算結果からも基岩に接するような円弧が最も危険との結論を得た。
- 2) すべりに対する安全率から考えて、予想すべり面の半径は最大 95 m 程度である。
- 3) すべり半径が大きいほど起動モーメントが大きくなりより危険である。

4.3 ロックアンカー・地すべり防止杭併用工法の設計

(1) ロックアンカーの仕様 (図-5 参照)

- 標準ストランド VSL E5-7
- 設計荷重 60 t/本

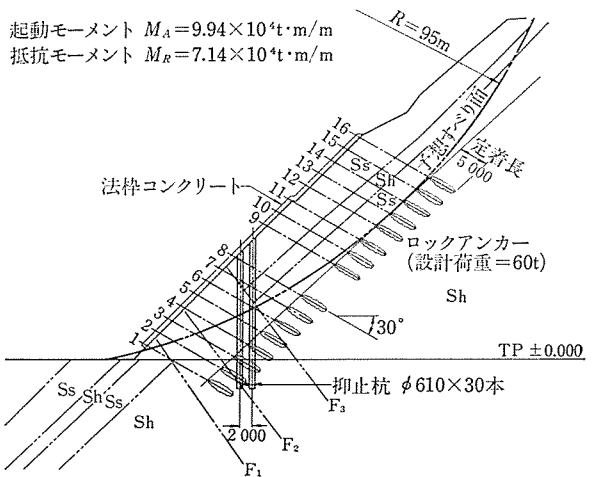


図-5

アンカーピッチ 斜面に対して 3.0m×3.0m  
 アンカー定着長 基岩(頁岩)に 5.0m  
 アンカー角度 水平方向に対して 30° 下向き

(2) ロックアンカーによる抵抗荷重

各々のアンカー張力を中心方向成分と接線方向成分に分割して、抵抗荷重を計算する。

$$R_1 = \sqrt{(P_s + P_r \tan \phi) d S}$$

$$= 280 \text{ t/m}$$

ここで、

$P_s$  : アンカー張力の接線方向成分

$P_r$  : アンカー張力の中心方向成分

(3) 抑止杭の仕様

掘削径 610mm

断面形状 図-6 参照

配置 3.0m の 2 列千鳥配置

モルタル充填杭とし、頭部をコンクリートスラブで連結する。

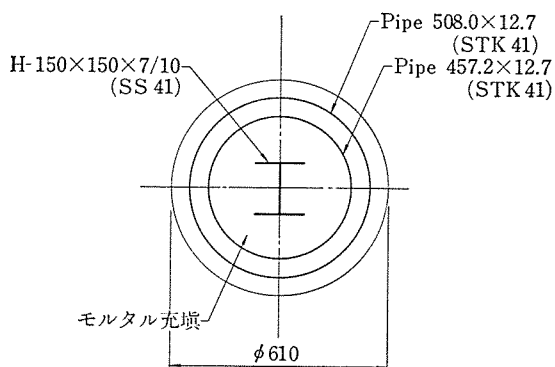


図-6

(4) 抑止杭による抵抗荷重

すべり面でのせん断抵抗力を抵抗荷重  $R_2$  と考え、次式によって計算する。

$$R_2 = \frac{1}{l} \sum (\tau_a \cdot A_w) = 220 \text{ t/m}$$

(5) 円弧すべりに対する安全率

以上のことより、円弧すべりに対する安全率  $S_f$  を次式により算定する。

$$S_f = \frac{\frac{M_R}{R} + R_1 + R_2}{\frac{M_A}{R}} \approx 1.2$$

よって、ロックアンカーと地すべり防止杭の併用工法で所定の安全率を満足する。

(6) コンクリート法枠の設計

解析モデルは、現場打ちコンクリート格子枠が各支点

位置でロックアンカーによる集中荷重を受ける弾性床上の格子梁として解析した。ここで岩盤の弾性係数  $E_0$  の値は、風化の程度を考慮した和泉層のランク IV の弾性係数  $2000 \text{ kg/cm}^2$  を使用した。

4.4 施工について

写真-4 に法面補強工の施工状況を示す。

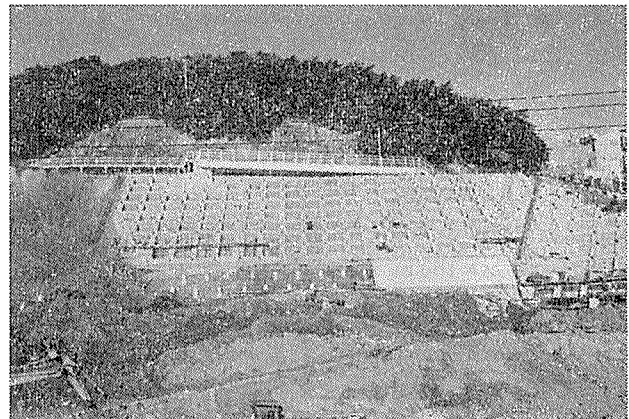


写真-4

なお工事数量は下記のとおりである。

ロックボルト	372 本 (D 32, $l=5000 \text{ mm}$ )
モルタル吹付け	1800 $\text{m}^2$
ロックアンカー	385 本
地すべり防止杭	30 本
法枠工	1645 $\text{m}^3$

5. あとがき

法面崩壊の原因を解明することは、その対象である土および岩が均一でないため、一般に非常に困難である。

そのため解析上やむを得ず  $c$  および  $\phi$  を一定として安定解析を行うのが常であろう。

本工事の場合は、地山が和泉層と呼ばれる砂岩と頁岩の互層をなす複雑な地質であること、工事区域がうず潮で有名な鳴門の国立公園内であるために観光客の通路確保の必要性および施工済のロックアンカーが大鳴門橋のアンカレイジ躯体内に将来埋め込まれること等々の制約条件のため設計・施工がより複雑になった。

また解析上の不確定要素に対処するためには、現場計測を行いつつ無事工事を完工するに至った。これも対策会議で御指導いただいた関係各位のたゆまぬ努力によるものと深く感謝の意を表し本報告の終りとする。

参 考 文 献

- 1) 大鳴門橋下部工大毛工区工事報告書, 昭和 56 年 3 月