

老朽化したモルタル吹付法面の 維持管理システムと修復工に関する研究

(株) 国土開発コンサルタント、宮崎大学大学院 ○周建敏*¹

宮崎大学工学部 横田 漠*²、瀬崎満弘*³

(株) ダイヤコンサルタント西日本支社 矢ヶ部秀美*³

建設省九州地方建設局 安田泰二*⁴

(株) ジオセンターエム 満倉忠勝*⁵

By J.M.Zhou, H. Yokota, M. Sezaki, H. Yakabe, T. Yasuda and T. Mitsukura

一般国道 220 号の宮崎一日南間には砂岩・泥岩互層からなる宮崎層群の切土法面が多数存在し、法面保護工としてモルタル吹付工が採用されているが、その大部分が老朽化してきている。そのため、集中豪雨時等には斜面災害が発生しやすく、異常気象時における事前通行規制区間に指定されている。筆者らは、ここ 7、8 年にわたって、この通行規制区間にあるモルタル吹付法面の変状の実態調査、修復優先順位の決定および修復工法の選定などを行い、老朽化モルタル吹付法面の維持管理システムを開発してきた。同システム構築の中で老朽化モルタル吹付法面の修復工法として、緑化併用型鉄筋挿入工の提案に至っている。本論文では、これまでの試験施工の結果、また修復工法の老朽化長大法面への適用について、さらには現在検討中の「老朽化モルタル吹付法面の修復工法指針」(案)について、その内容と課題を述べている。

【キーワード】 マネジメントシステム、維持・管理・修復、老朽化モルタル法面

1. はじめに

一般国道 220 号は、宮崎市を起点として日向灘に面する海岸沿いを日南市、串間市を經由して、鹿児島県に至る幹線および観光道路である。この中で、宮崎市から日南市に至る区間(以下、日南海岸地区と呼ぶ)に分布する地層は、砂岩・泥岩互層からなる新第三紀の宮崎層群であり、全体として海岸に向かって傾斜する単斜構造を成し、傾斜は 20~30 度と緩いものとなっている。日南海岸地区はこの宮崎層群の斜面を切土した道路区間がそのほとんどを占めており、砂岩が卓越する箇所ではその多くが道路

面に対して急崖を成している。また、これらの切土法面にはモルタル吹付工が施工されたものが多く、その数は約 100 にのぼっている。しかも、その大部分が 1970 年前後に施工されており、老朽化したものとなっている。

一方、宮崎層群は、その泥岩層のスレーキング等による強度低下が著しいため、風化の進行は通常の岩盤と比べて極端に速いという特性をもつ。このような地質的な特性に加えて、この地区の気象条件(台風や集中豪雨)が原因となって、斜面崩壊が毎年発生している。道路災害を未然に防ぐため、日南海岸地区は異常気象時の事前通行規制区間に指定されており、その区間延長は約 32km と九州で一番長い。

筆者らは、この通行規制区間の延長短縮や老朽化モルタル法面の合理的な維持管理を図るため、1992 年より、同区間内のモルタル法面変状の実態および変状原因を調査し、さらに修復優先順位の決定や修復工法の開発等を行ってきた。その結果、老朽化モルタル吹付法面に対する 1 つの緑化併用型修復工法

*1 技術本部, 0985-24-6487, 博士後期課程・システム工学

*2 土木環境工学科, 0985-58-7343

*3 福岡支店副支店長, 092-282-7550

*4 宮崎工事事務所所長, 0985-24-8221

*5 代表取締役, 0985-48-5050

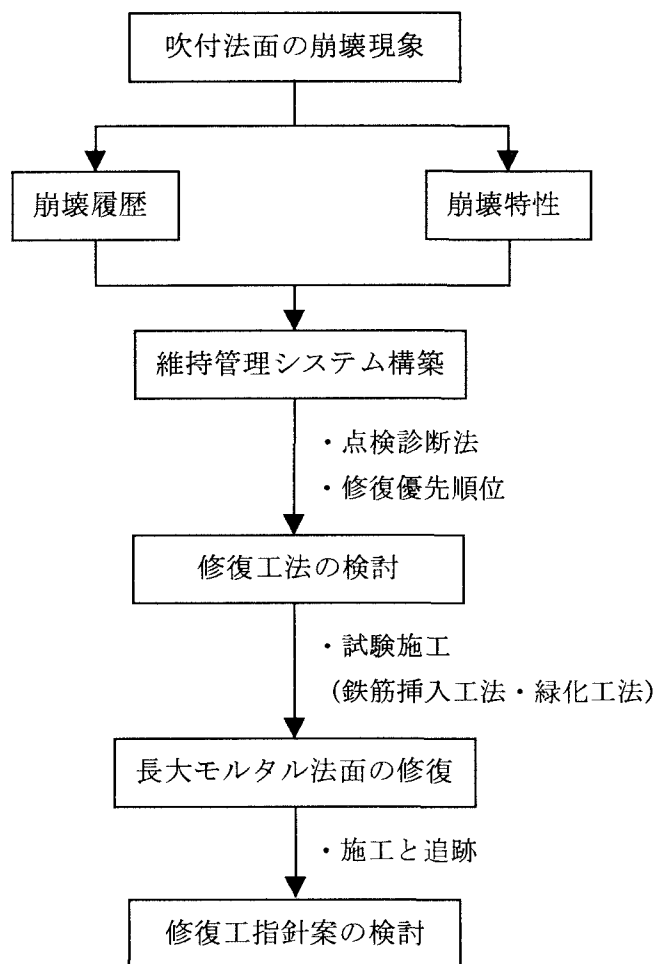


図-1 調査検討の流れ

を提案するに至っている。

本論文は、同修復工法に至るまでのここ 7、8 年にわたる維持管理の方法、試験施工の結果、また老朽化した長大法面の修復への適用、さらには現在検討中の「老朽化モルタル吹付法面の修復工法指針」

(案) について、その内容と課題を述べるものである。その調査検討の流れを図-1 に示す。

2. 老朽化モルタル吹付法面の崩壊特性

(1) 老朽化法面の崩壊履歴

最近の 20 年間で、斜面崩壊や落石等（以降、崩壊等と称す）を起こしている老朽化モルタル吹付法面の数は現在、全管理モルタル法面 95 中 53 法面となっている。これらの法面はこの 20 年間で延べ 110 回を超える崩壊等（最も多い法面は 6 回）を起こしており、年度別の件数は図-2 に示す通りである。

高谷^{1),2)}は本通行規制区間の斜面崩壊特性を 4 つ

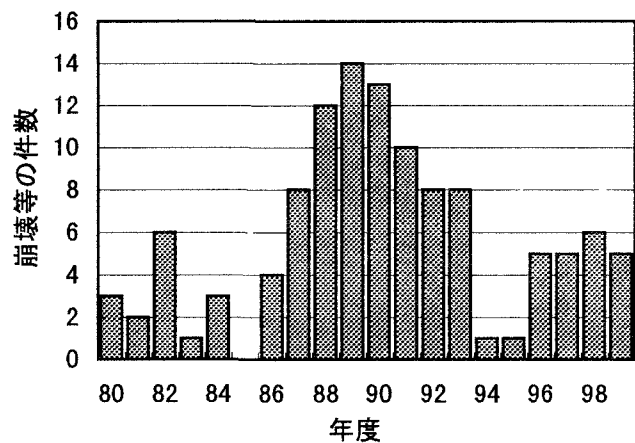


図-2 最近20年間における崩壊等の件数

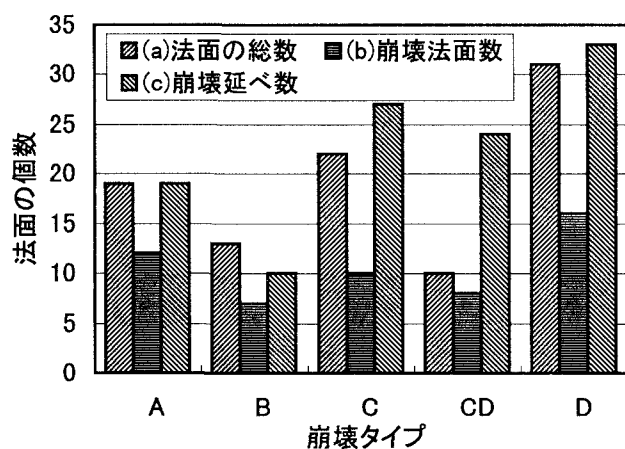


図-3 タイプ別崩壊等の状況

のタイプに分類しているが、著者らも同様に、宮崎層群の斜面崩壊特性に応じつつ、モルタル吹付法面そのものの崩壊に焦点をあてて、表-1 に示すような A から E までの 5 タイプに分けて維持管理している。なお、タイプ E は 3 法面と少なく、また B、あるいは C タイプと一緒に形で存在しているので、以下の解析ではタイプ B、C に入れている。また、タイプ C と D が 1 つの法面で混在するケースが 10 法面あるので、これについてもタイプ CD と表現して独立的に取り扱っている。

図-3 は、全法面 95 に関して、(a)タイプ別の法面の総数、(b)タイプ別の崩壊法面数と(c)その延べ数を示している。たとえば、タイプ D の場合、法面数は 31 であり、そのうち 16 の法面が計 33 回崩壊等を起こしている、ことを表している。同図より、法面はタイプ D が一番多く（33%）、以下 C、A、B がそれぞれ 24%、20%、13%という分布になっており、また、崩壊等に関してはタイプ C、CD、D のものが多

表-1 モルタル法面の崩壊タイプ

崩壊タイプ	宮崎層群の斜面特性	崩壊特徴
A	流れ盤斜面	斜面：表層泥岩の風化による地すべり性崩壊 法面：白色変質、湧水、開口クラック
B	砂岩層の厚い斜面	斜面：砂岩がオーバーハング状、鉛直方向の節理面 法面：開口クラック、剥離、砂岩片の落石
C	砂岩優勢互層、受け盤	斜面：砂岩層のオーバーハング的突出、表層崩壊 法面：空洞、剥離、落石
D	泥岩優勢互層、受け盤	斜面：深部まで風化進行、土砂化 法面：開口クラックの密集、剥離、空洞
E	崖錐堆積層斜面	斜面：地すべり性崩壊 法面：砂岩片の転石、表面崩壊

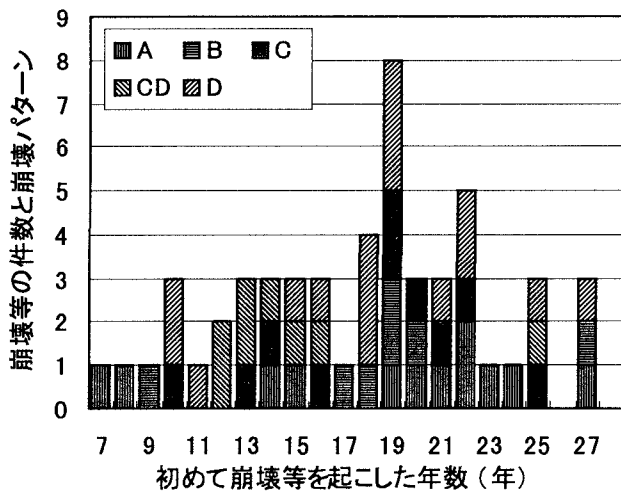


図-4 初めて崩壊等を起こした年数とその崩壊パターン

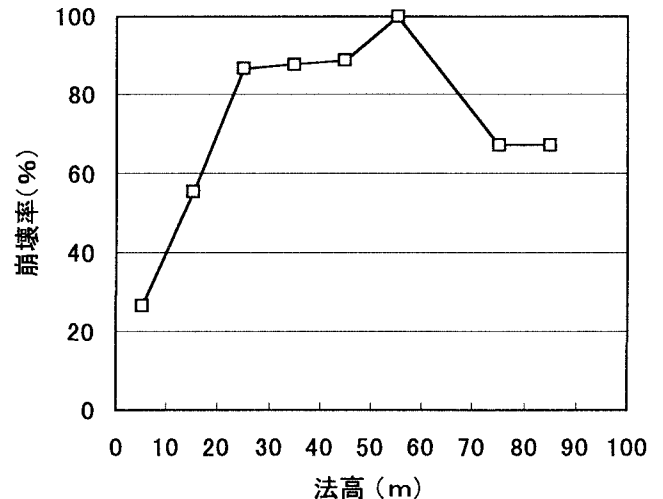


図-5 法高と崩壊率の関係

くみられるということがわかる。

(2) 老朽化法面の崩壊特性

崩壊 53 法面に関して、それらが施工後にはじめて崩壊等を起こした時の経年数をタイプ別にみれば、図-4 に示す通りとなる。経年数が 20 年前後で崩壊等のピークがあることがうかがわれ、崩壊性のモルタル法面の寿命は約 20 年と設定してよいといえよう。しかし、各タイプとも 20 年の前後でも崩壊等が発生しており、寿命についてはより詳細な分析が必要だといえる。また、図-5 に法高と崩壊率との関係を示しているが、法高の大きい程崩壊率は高くなっている。

一方、未崩壊の法面に関しては、計 42 の法面が

存在しているが、そのうち 37 法面は 24 年以上も崩壊等を経験していない。これらの法面の特徴はその法高が小さいことに尽きる。未崩壊法面では 3 法面を除いて法高はすべて 20m 以下となっている。また、法面積も大部分が 1000 m² 未満となっている。いわば、法高が 20m 以下で、1000 m² 未満の法面積を有するような法面では吹付工が有効に機能しているといえる。

崩壊 53 法面に関しては、その 70%が法高 30m を越えており、80%弱が 1000 m² 以上の法面積を有している。また、全 95 法面に関して湧水が大と判断されたものは 29 法面あり、その中で崩壊法面数は 26 に及んでいる。従って、崩壊性法面には湧水および法高が大きく影響しているといえる。

3. 老朽化モルタル吹付法面の維持管理システム

(1) 維持管理システムの概要

以上に述べたような崩壊特性を有するモルタル吹付法面に関して、著者らは全モルタル吹付法面を3つのランク、すなわち早急に修復を図る必要がある法面（ランクⅠ）、要監視法面（ランクⅡ）および災害発生の恐れのない法面（ランクⅢ）に分けて維持管理を行っている。具体的には、各法面劣化・地山風化の程度を、①パトロールによる法面変状の観察、②地山を含めた法面変状に対する専門家の診断（年に1回）、また③斜め写真撮影（3年に1回程度）による地山変状の経時変化に関するチェック、さらには④崩壊危険度の高い法面に関する熱赤外線映像法等によって評価し、また、これをもとにして危険度ランクを年に1度、見直している。

図-6 はここ 7、8 年間におけるランクの変遷を示すものである。なお、1997 年度には見直しを行っておらず、また法面総数の減少はトンネル開通に伴う管理法面の減少のためである。同図からはランクの変化がそれほどみられず、維持・管理の効果は目に見える形には出てきていない。やはり、ランクの見直しが十分には客観的に評価され得ていない、ということの表れといえよう。例えばランクⅠの法面が崩壊を起こさずに、ランクⅡが崩壊し、次年度にそれがランクⅢに組み入れられるようなケースが起こるからである。また、ランクⅠの法面に関する修復工の実施は、試験施工を含めて3法面にすぎない。毎年 3、4 件ほど発生する崩壊への対応を行わなければならない、財政的な面でやむを得ないところである。

ランクⅠの老朽化モルタル吹付法面は、既述のように緑化併用型鉄筋挿入工により修復するようになっている。すなわち、老朽化モルタルを剥がすことなく、その上に直接吹付枠工と鉄筋挿入工を行い、またモルタルの亀裂などは緑化用植物への水みちとして活用するような手法をとっている。

試験施工の対象法面は、法高が 8m、延長が 55m の崩壊タイプ D のものである。そこを2工区に分け、第1工区は1993年度に、また第2工区は1995年度に試験施工が行われている。鉄筋挿入工に関しては、第1工区では鉄筋の挙動を明瞭にみるために、鉄筋量を通常の約 1/3 に少なくしている。

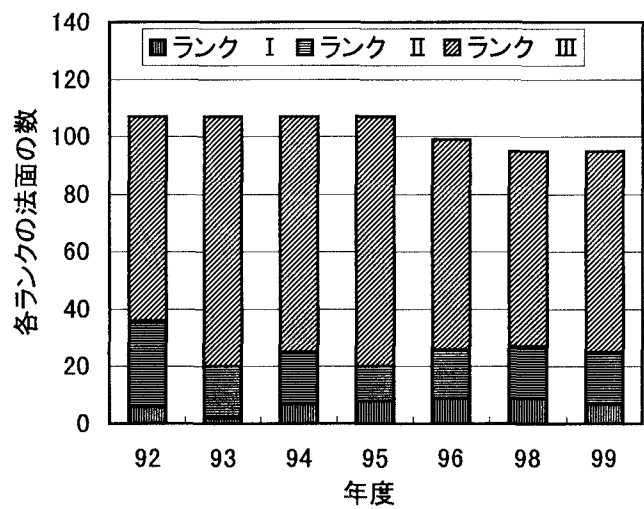


図-6 ランクの経年的変化

この試験施工のデータ等を用いて、1999 年度にランクⅠの長大モルタル法面（法高が最高で 45m、延長が 50m、法面積が 2270m²）の修復を行っている。以下、これら試験施工の結果や長大法面の修復工等について述べる。

(2) 緑化工法

試験施工では、その緑化工法として a) 吹付枠内モルタル面の植生基盤材吹付工、b) 長繊維入り植生基盤材吹付工、および c) 吹付枠に打設した RC 植生ボックスの3種類を取り上げている。施工から現在まで5-7年間、植生基盤の安定性と植物の適応性について観察をおこなってきた結果、次のようなことが得られている。

a) 植生基盤材吹付工

基盤材は3年後にはほとんど剥離してしまった。現在、法面の一部には牧草（バミューダグラス）がまだ生育しているものの、大部分は吹付枠上に残っている基盤材に周囲から遷移してきたノジギク等の植物が自生している状況である。剥離の原因は、法面の急勾配（平均的には 50-60°）と基盤材の乾燥であると考えられる。

b) 長繊維入り厚層基盤材吹付工

5 年経った今でも剥離は生じていなく、全面緑化を保っている。しかし、一部分に基盤材の流失がみられる。これは乾燥時の浮き上がり、と雨水が原因だと考えられている。植生に関しては、バミューダグラスを主体としたものとなっているため、混播し

たハギ類は被圧等のため衰退し、在来種の侵入もノジグク以外は顕著には認められていない。

c) 植生ボックス

植生基盤としては優れているが、植栽植物に比べて雑草などの生育が活発なので、短期景観がよくない。特に、ボックスは現場打ちの鉄筋コンクリート製であるため、景観的に優れているとはいえず、緑が少なければ景観上もともとよくない。植生に関しては、ハマゴウがもっとも適応しており、大きく成長してボックスから下方に2、3m程垂れ下がっている。ナツツタ、テイカカヅラなどのツル類の生育もよい。また、ノイバラやソテツなども周辺から遷移している。

以上の試験データより、老朽化モルタル吹付法面の緑化方法に関して次のような方針を得ている。

①植生基盤材吹付工のような全面緑化は適していない。

②植生環境の良いところ、例えば、老朽化モルタル面上に植物が自生していた箇所や植生ボックスなどを「植生ステーション」³⁾と位置づけ、その点における緑化をまず中心に考える。他の点に関しては、そのステーションからナツツタ類をはわせたり、ハマゴウなどを下垂させて、緑化をはかってゆく。

(3) 鉄筋挿入工の設計

a) 設計方法

老朽化モルタルの背面では、空洞や地山表層の土砂化が起こっており、枠や鉄筋はこの表層すべりに抵抗するように設計されている。鉄筋及び枠の設計手法としてはそれぞれ「JH 日本道路公団」⁴⁾及び「全国特定法面保護協会」⁵⁾のものに準拠している。本通行規制区間の法面修復に対して、本鉄筋挿入工法と同様なものが、古川ら⁶⁾および高田⁷⁾によって試みられている。そこでは、法面にグラウト孔を持つ特殊アンカーを打設し、その頭部を縦横に鉄筋で連結した後、被覆モルタルを吹付け、グラウト填充する工法である。

本研究における鉄筋挿入でもモルタル背面の空洞部分は、これをモルタルで充填する。鉄筋を地山に固定する点では充填は必須となるが、その点以外の空洞部分は設計上は無視して良い。また、ここでは老朽化モルタル吹付法面には吹付は行わない。モルタルの亀裂等は緑化用植物への水みちとして活用し

ている。

b) 鉄筋のひずみ観測

第2工区の施工後におけるひずみの挙動例を図-7と8に示す。任意の2地点における軸ひずみと曲げひずみをそれぞれ同図a、bに表しているが、法面から500cm(図-7aと7b)、また350cm(図-8aと8b)の近傍以外では軸ひずみ、曲げひずみとも大きな値はない。試験法面の風化深度は高々、50cmであるため、表層すべりに対しては、本設計法は十分に安全であるといえる。

なお、500cm、350cmにおける大きなひずみは、その後に第1工区で行われたボーリングの結果から、泥岩粘土化ゾーンによるすべりによって生じたのではないかと考えられている。第1工区では粘土化ゾーンが法面から約3mの点で認められており、鉄筋のひずみ状況は例えば、図-9aと9bに示すように、同ゾーンの影響を大きく受けた形となっている。なお、第1工区では鉄筋量が第2工区の1/3と小さくしていたために大変形を起こしている⁸⁾。

c) 風化層厚さ

宮崎層群の泥岩は、切り土して放置した場合、表面から乾湿繰り返しによって深さ方向へ徐々に風化が進み、軟岩→細礫→シルトへと細粒化していく性質を持っている。モルタル吹付法面でも背面地山の泥岩は同様に風化してゆく。モルタル吹付面を貫通して行った28本の調査ボーリングから、背面地山の風化深さと経過時間(吹付施工時期からの年数)の関係を求めた結果を図-10に示す。

モルタル吹付工の施工段階では風化はなかったと仮定すれば、同図は風化が時間と共に深さ方向に進む速度を表しているといえる。ここでは風化速度をこのように定義すれば、風化に関して次のようなことが同図より言える。

①風化は経時的に進むが、風化速度は遅くて1cm/年、早い場合で5cm/年(例えば30年間を考えた場合、風化深さはそれぞれ30cm、150cm)程度を示す。

②施工後20年以上経過した法面では風化深さにバラツキが著しい。

風化速度の違いは、背面地山の砂岩・泥岩の割合や地下水の有無、日照時間などの要因が影響しているが、②に関しては吹付モルタル法面の劣化・変状の拡大による法面の機能低下が大きく影響している

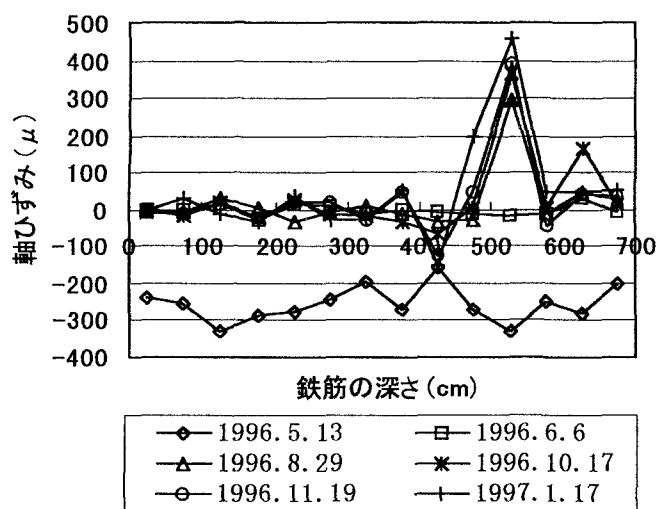


図-7a 鉄筋の軸ひずみ分布

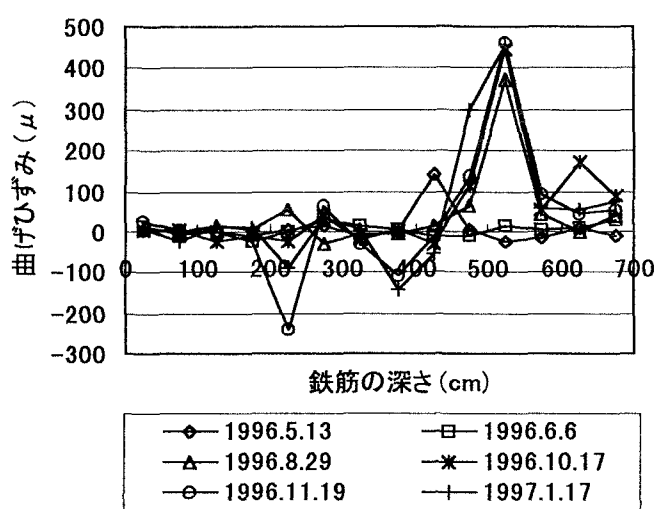


図-7b 鉄筋の曲げひずみ分布

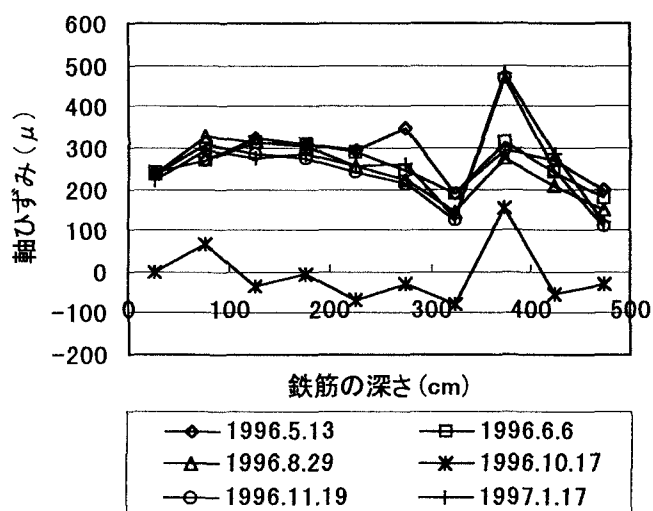


図-8a 鉄筋の軸ひずみ分布

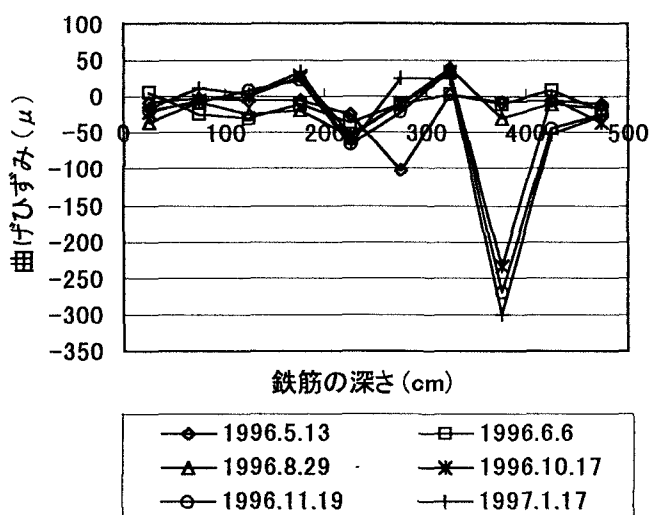


図-8b 鉄筋の曲げひずみ分布

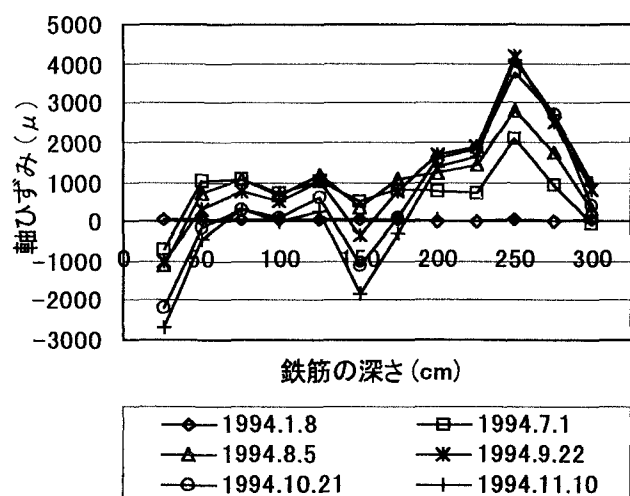


図-9a 鉄筋の軸ひずみ分布

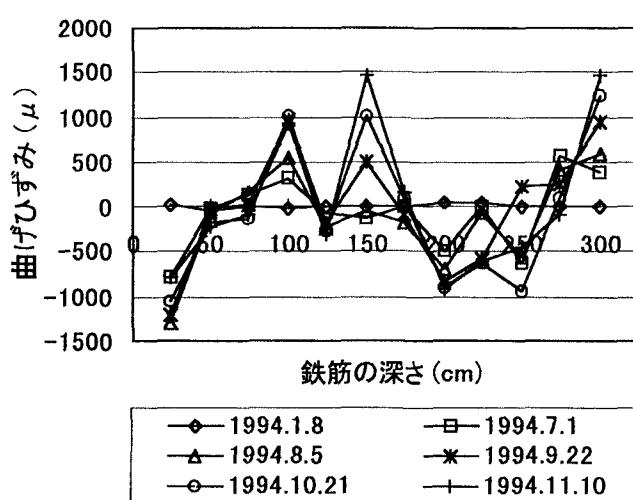


図-9b 鉄筋の曲げひずみ分布

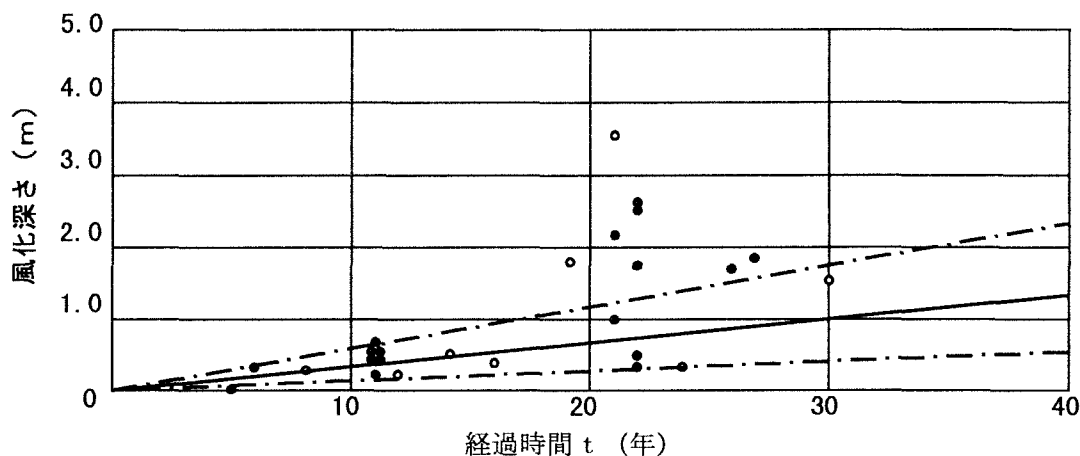


図-10 吹付法面背面地山の風化深さと経過時間

表-2 宮崎層群の地山風化深さ分布

深 さ	(0-1)m	(1-2)m	(2-3)m	(3-8)m
割 合	28%	24%	21%	27%

表-3 モルタル背面の空洞と風化深さ

空 洞	面 積	860 m ²
	平均厚さ	0.042m
風 化 深 さ		0.33 m

ものと思われる。

ここで、この法面の機能低下に関連して、自然地山の風化特性をみることにする。表-2 は、本通行規制区間の宮崎層群自然地山に対して実施された117本のボーリング試料から、同地山に関する風化深さを求めたものである。風化深さ 3m 以下が全体の 70%を越えており、3m 以上の風化層が少ない。これは、風化深さが 3m 以上になれば自然崩壊が起りやすい状況を示しているといえよう。

一方、図-10 によれば、モルタル背面地山の風化は 20 年前後では 2-3m の深度に達しているグループがある。前述のように、自然地山でも風化深さは最高 3m を考えればよいので、このグループはモルタル法面の風化抑制機能がかなり低下した箇所のデータだと推定される。

以上より、老朽化モルタルの設計にあたっては、20 年前後の風化深さのバラツキは法面の機能低下等によるものと考え、モルタル背面の風化は 30 年で最大 1m 進むということを 1つの目安にしている。

(4) 長大モルタル法面の修復工

試験施工の結果に基づいて、1998 年と 1999 年に日南市大浦において長大モルタル吹付法面の修復工を実施した。

a) 法面風化状況

本法面は施工から 30 年経過しており、モルタル

背面空洞の厚さおよび風化の深さ等は、熱赤外線映像法およびコア抜き調査から表-3 に示すように得られた。

b) 設計条件

高所急崖部であり、維持管理や交通環境上、50 年間メンテナンスフリーとする。そのため、50 年後におけるモルタル背面の風化深さの値が必要となるが、ここでは表-3 に示すような 30 年間での風化深さ 0.33m を用いて、50 年後の風化深さ (d_{50}) を以下の様に求めた。

$$d_{50} = 0.33 + 0.33 \times 50/30 \\ = 0.88 \approx 1.0 \text{ m}$$

なお、(3)、c)で述べた 30 年で 1m という風化速度は対象とする法面の風化データがない場合に用いることとしている。

次にコンクリートの強度も「50 年間メンテナンスフリー」のため 180kgf/cm² (17.7N/mm²)と大きく設定した。また、吹付枠の間隔は植生の環境上大きいほうが良いので、4m 間隔とした。緑化に関しては「植生ステーション」の考えに従って、植生ボックスを設置した。

c) 設計結果

吹付枠の大きさや挿入鉄筋および植生ボックスの次元などについて、表-4 に示すような結果が得ら

表-4 設計データ

50 年後の風化深さ	1.0m
吹付枠のサイズ	300mm×300mm
挿入鉄筋	D29、長さ：2.9m 挿入角度：40°
植生ボックス	H×L：0.6m×8.0m

れた。

4. 老朽化モルタル吹付法面の修復工法指針（案）
の概要と課題

(1) 修復工法指針（案）の概要

現在検討中の指針（案）の中での修復工法設計の概要は以下の通りである。

設計の基本方針としては、次の3項を満足するものとした。

- ①現況のまま対策する事を原則とする。
- ②耐用年数 50 年として設計する。
- ③周辺環境に馴染む緑化修景を考えた設計を行う。

a) すべり深さの決定と安定計算

まず、モルタル吹付法面の老朽化状況と背面地山の地盤特性から、予想される崩壊パターンを求める。次にすべり面を想定した安定計算を行うため、風化深さを決定する。現況の風化深さが調査等で求められる場合は、それに基に 50 年後の風化深さを決定する。求められなければ、風化速度を最大 1.0m/30 年（泥岩層のみの構成の場合）として、50 年後の風化深さを推定する。そして、風化深さの最深部を通るようなすべり面を想定する。安定計算式はスライス分割法による極限つり合い安定解析法を用い、表-5 に示すような所定の計画安全率を確保するものとする。

現況の安全率は、地山が崩壊しておらず、かつ法面の機能が喪失する以前に対策を実施することを前提としているので、1.00～1.05の間で設定した。また、計画安全率は、現在の風化深さに対して1.20を満足し、経時変化とともに地山の風化が進行し、耐用年数後の風化厚さに対して安全率が1.00以上を確保することとした。それは、耐用年数後に再度修復・補強を実施する場合、法面がまだ機能を有していることが必要だと判断しているためである。

b) 枠工の設計

枠工の設計では、吹付コンクリートの設計基準強

表-5 安全率

現況 安全率	変状が軽微	$F_s = 1.05$
	変状が顕著	$F_s = 1.00$
計画 安全率	現在	$F_{sp} = 1.20$
	50年後	$F_{sp} = 1.00$

度を 17.7N/mm^2 (180kgf/cm^2) とする許容応力度法で設計する。これは土木学会の「コンクリート構造物の耐久設計指針（試案）」に基づくもので、一般の土木構造物の設計耐用期間を50年とした場合の基準強度を採用している。

また、鉄筋の被りに関しては、吹付け工の場合、塩害地では通常、40 mmとなっているが、ここでは 50 mmとしている。鉄筋の最大径は、高所急崖部の施工を考慮して 16 mm～19 mmとしている。

c) 鉄筋挿入工法

補強法としての鉄筋挿入工法は、枠工の耐用期間に合わせた設計とし、鉄筋、頭部、プレートを防食（樹脂塗布やメッキ）構造にすることとし、鉄筋のグラウトによる被りを 10 mm以上、および腐食しろを鉄筋径で 1mm としている。また、鉄筋間隔は 4.0m としている。鉄筋間隔に関しては、日本道路公団の切土補強土工法設計・施工要領ではその最大値を 2.0m と定めている。しかし、当地区では風化深さが浅く、また 50 年後の風化層厚さに対応して抑止力を決定していることから、現況の安全率は高くなる傾向にある。また、定着層の地盤特性が明確であることから、鉄筋挿入の抑止力に対する信頼性が高い。そのため、アンカーの最大間隔に準じた 4.0m を採用し、強度計算を行うものとしている。

d) 大間隔枠工の採用について

鉄筋を打設する枠の交点間隔は、枠幅の約8倍が標準となっている。これは枠内土砂抜け出しを防止するものである。しかし、当地区においては、既設モルタルおよび背面空洞部の注入層と新規に施工する吹付枠工が一体となって風化層を抑止する。3. で述べた老朽化長大法面の修復工では、4.0m間隔の枠内からの抜け出しは起こらないことが確認されている。

e) 緑化工法

修復法面の緑化工法は、全面緑化を目標とする。既設モルタル法面上の過酷な植生環境で自生してい

る草本類を有効に活かしながら、また植生ボックスにツタ類を生育させて、最終的にはツタ類で全面緑化を行うことを目標としている。短期間で全面的な緑化が必要な法面は、長期的な緑化対策とあわせて、基盤材が法面枠内にとどまる工法（例えば長繊維入り植生基盤材吹付工）を採用するものとしている。植栽は、現地で自生しているハマゴウ、カンナ、ナツツタ、テイカカヅラ、オオイタビを基本としている。短期的にあるいは緩勾配部に施工する植生基盤材吹付の種子は、バミューダとの相性の良い種子を選定する。ノジギクは、郷土植物として有効利用する。その他、木本類の導入を播種で行うこと、周辺で自生している蔦類（ナツツタ・オオイタビ）を緑化現場まで伸長させることなどが規定されている。

(2) 施工上の課題

本修復工法の老朽化法面への適用後に生じた検討課題としては、次のような事項が挙げられる。

a) 吹付コンクリートの品質

高所急崖の多い当区間では全ての法面で 17.7 N/mm²強度を確保することは非常に難しい。当面は次の項目を定めることで対応することとしている。

①余練りミキサーの使用。

②ホース長を100m、施工高さを50mと制限し、それ以上の場合は別途対策を練ること。

③使用砂のFMを2.5以上とする。

④高所部における強度管理方法の検討は今後の課題である。

b) 塩害への配慮

当路線は塩害が発生する地域である。従って塩害による鉄筋の腐食を考慮しなければならない。コンクリート標準示方書（平成3年）によれば、腐食性環境が特に厳しい場合では被りは60mmとなっている。本指針（案）では50mmであるが、腐食の懸念が生じている。被り厚さについての検討が今後必要となっている。

c) 作業性からみた鉄筋径

吹付枠工に使用する最大鉄筋をD19mmで設計していたが、鉄筋を曲げる作業性を考慮するとD16mmまで下げて用いることもやむを得ないことがわかった。原則的には、19mmの鉄筋が経済性及び品質の面から望ましいが、凹凸の激しい法面やクレーンが届かない長大法面の場合は16mmで設計することとした。

d) 湧水箇所の対策

湧水の多い法面では、施工後20年前後で吹付面の変状・崩落が生じてくる。そのため、積極的に水抜きパイプを挿入すること、既設法面に設置してある水抜きパイプの清掃を当初計画に盛り込むこと、湧水が多い箇所の水抜きパイプの設置では、部分的なはぎ取りも検討するものとしている。

また、湧水箇所での開放型法面保護工の適用性や「大間隔枠工＋緑化ボックス」で枠内を窓抜きして植生袋工を追加する案などの検討が今後の課題となっている。

(3) 今後の課題⁹⁾

a) 維持管理までを配慮した設計・施工の必要性

新たに計画される切土法面や斜面の安定工の設計では今後、性能設計の観点から供用期間中の安定性確保という観点が重要となってくる。そのため、今後は工法比較を行う場合においても、従来の要素である経済性、施工性、景観に加えて維持管理の難易という要素が比較されなければならない。

特に、本宮崎層群のような泥岩は、切土直後から風化が進行するものあり、工程の初期における技術的な工夫が将来の安定性に大きく貢献する場合が少なくない。また、切取り直後における地質や湧水などの情報は電子化技術により半永久的に保存されるべきものと考えられる。

b) LCC（ライフサイクルコスト）設計

今後、法面・斜面にLCC設計が導入されてゆくものと思われるが、その場合次のような性能の低下に関する問題がある。

宮崎層群地山に施工されたモルタル吹付工では、崩壊性が高い法面の場合、その寿命は20～30年程度といえる。しかし、泥岩の風化特性（風化速度や風化層の強度特性）は未だに十分解明されていない。さらに、ここで検討している老朽化モルタル法面の修復工では、挿入鉄筋の性能低下も評価しなければならない。これについては今後におけるRC構造物の性能設計の進展に大きく依存するものとなる。

c) メンテナンス投資型の緑化技術の確立

長期的な安定性という性能は初期投資型であるのに対して、周辺環境・景観との調和という性能はメンテナンス投資型である。メンテナンス投資型は効率が悪いが、動植物相手の技術は維持管理中心にな

らざるを得ない。本修復工指針ではその概念が希薄といえる。今後、新しい道路土工指針に則った法面緑化技術や、更に進んで樹林化までを見通した植生技術の導入等を行う中で、このメンテナンス投資型の緑化手法についても十分検討されてゆかねばならない。

5. おわりに

一般国道 220 号沿いの宮崎層群切土斜面の老朽化モルタル法面を対象として、ここ 7、8 年間行ってきた維持管理について、またその過程で得られた諸データ、さらにはそれを踏まえて現在作成中の法面修復工法指針（案）の内容やその課題について述べてきた。

同指針（案）の骨子は次のとおりである。

1) 現況のままで対策する事を原則とする。

はぎ取り作業の危険性、片側交通の確保、また建設廃材の削減の観点から、老朽化モルタルを剥ぎ取らずに法面を修復するようにしている。

2) 耐用年数 50 年として設計する。

高所急崖部が多く、維持・修復が困難であるため、メンテナンスフリーとする。従って、一般の公共性の高い RC 構造物と同様に位置づけて、耐用年数として 50 年を目安としている。

3) 周辺環境に馴染む緑化修景を考えた設計を行う。

修復する法面は「植生ステーション」を中心にして、全面緑化を目指す。すなわち、法面上の植生環境の良いところで、自生している草本類を有効に活かしながら、植生ボックスに生育させたツタ類で全面緑化を行うことを目標としている。

この指針（案）は、国道 220 号のうち宮崎市折生迫から日南市風田に至る延長 32 km の異常気象時の通行規制区間の老朽化したモルタル吹付法面の修復工事に適用される。すなわち、当該区間の吹付法面で定期的に行われる点検・診断において、危険度ランクがⅠ（要対策）と判定された法面を優先的に修復していく場合に活用される。また、地形地質条件としては、予想される崩壊タイプが C、D または C D に区分されるような法面を対象としている。平成 12 年度に指針（案）が完成し、翌年度より運用される予定である。今後、通行規制区間の縮小に努めるとともに、指針の内容をさらに充実、合理化して

ゆきたいと考えている。

現段階での 1 つの課題は次のようなものである。すなわち、指針（案）では、修復法面を永久構造物と位置づけ、その寿命を 50 年と設定しているが、崩壊性の高いモルタル法面の多くは、20 年前後の経年数で崩壊を起こしている、ということである。

設計では、修復法面は 50 年間にわたって、モルタル背面泥岩の風化層が吹付枠と挿入鉄筋で保持されるようになっている。崩壊性法面の大部分は湧水が多く見られるところであり、「50 年寿命」設計ではこれを合理的に十分、織込んではいえない。そのため、指針（案）では積極的に水抜きパイプを挿入することとしている。また、維持、点検のための検査路も設置するようになっている。

このように維持点検を併用しながら、修復法面を耐久性構造物として取り扱ってゆこうとしている。いわば、LCC 設計を少し取り入れたような耐久性構造設計といえよう。これは、自然が相手であるゆえ、やむをえないことだと思う。

今後、監視すべき変状をピンポイントに決めて点検密度を大きくしたり、またそのデータの電子化を行って、調査データや解析結果の精度向上をはかる必要がある。さらに、新設や修復等の施工時に得られる諸データも蓄積し、設計にフィードバックできるシステムが望ましい。これの実現と相俟って、修復工法に関する LCC 設計や性能設計は可能となつてゆくと思われる。

また、緑化についても「植生ステーション」の考えのもとで、できるだけ自然緑化をおこなってゆくことが望ましいが、景観面から考えるならば緑化工については初期のメンテナンスが、特に必要であるといえる。また、メンテナンス投資型の緑化技術についても今後の検討課題である。

今後、これらの課題を追求しながら、老朽化法面を維持管理してゆきたい。

【参考文献】

- 1) 高谷精二：日南海岸の斜面崩壊に関する研究Ⅰ，南九州大学園芸学部研究報告，No. 22，pp. 197-202，1992.
- 2) 高谷精二：日南海岸（国道 220 号線）の斜面崩

- 壊, 地すべり, Vol. 30, No. 4, pp. 41-45, 1994.
- 3) 横田漠, 松浦弘, 矢ヶ部秀美, 出口近士: 老朽化したモルタル吹付け法面の緑化, 土と基礎, Vol. 44, No. 6, pp. 37-39, 1996.
 - 4) JH 日本道路公団, 切土補強土工法設計・施工要領, 平成 10 年 10 月.
 - 5) 全国特定法面保護協会, のり枠工の設計・施工指針, 平成 7 年 10 月.
 - 6) 古川恒雄, 甲斐栄二, 長友善雄, 宮本仁: モルタル吹付け法面修復工法に関する一考察, 建設省技術研究会報告, Vol. 41, pp. 480-485, 1988.
 - 7) 高田守, 長友善雄: モルタル吹付け法面修復工法に関する一考察, 日本道路会議論文集一般論文集, Vol. 18, pp. 136-137, 1989.
 - 8) Zhou, J.M., Yokota, H., Sezaki, M., Yakabe, H. and Minami, H.: "Insitu test of steel-nailing reinforcement for cut slope with alternating sandstone and mudstone", *Earth Reinforcement*, Vol. 1, pp. 841-846, 1996.
 - 9) 地盤工学会九州支部: 「性能」に着目した地盤構造物の維持管理技術, 第 1, 2 章, pp. 1-1~1-18, 2-1~2-62, 平成 11 年 3 月.

“SLOPE MAINTENANCE MANAGEMENT SYSTEM AND RESTORATION METHOD FOR DETERIORATED SHOTCRETE SLOPES”

By J.M.Zhou, H.Yokota, M.Sezaki, H.Yakabe, T.Yasuda and T.Mitsukura

There are more than 100 shotcrete slopes at a alternation strata of sandstone and mudstone along with about a 32km section of National Route 220 from Miyazaki to Nitinan city. Because most of them were built in 1966 to 1974 and are beyond 20 years old, some of them have been deteriorated these years. Several slope disasters, therefore, occur every year in the case of heavy rainfall. So under the abnormal weather, the section of the road is to be closed to traffic. And it is the longest section of traffic regulation in Kyushu. In order to keep the shotcrete slopes in the traffic regulation section under perfect control, the causes of shotcrete slope collapse, the decision of priority order for the restoration of deteriorated shotcrete slopes, the manual for restoration methods and the trial construction for the restoration of deteriorated slopes have been carried out since 1992. This paper shows the slope maintenance system and the guide manual for design of restoring shotcrete slopes under consideration.