

老朽化した吹付モルタル面の補修・補強技術

トーコンプラス工法 設計・施工の手引き

2021 年 10 月



東興ジオテック

目 次

1. トーコンプラス工法の概要	1
1.1 工法概要	1
1.2 目的	2
1.3 適用範囲	3
1.4 用語の定義	7
2. 老朽化吹付モルタル面の調査	8
2.1 調査一般	8
3. 設計	9
3.1 一般	9
3.2 増厚工（繊維補強モルタル吹付工）の設計	11
3.3 補強鉄筋の設計	12
3.4 ロックボルトの設計	13
3.5 フレームワッシャーの設計	14
3.6 ファスナーボルトの設計	15
4. 施工	16
4.1 施工計画	16
4.2 S, SG, L, LG タイプ	17
4.2.1 施工手順	17
4.2.2 施工方法	18
1) 準備工	18
2) 高水圧洗浄工	18
3) ラス張工（併用する場合）	18
4) 補強鉄筋打設工	19
5) フレームワッシャー設置工	20
6) ファスナーボルト打設工	21
7) 水抜き孔設置工	21
8) 注入孔設置工（SG, LG タイプ）	22
9) 繊維補強モルタル吹付工	23
10) 空洞充填注入工（SG, LG タイプ）	24
4.3 R, RG タイプ	25
4.3.1 施工手順	25
4.3.2 施工方法（R タイプ）	26
1) 鉄筋挿入工	26

5. 使用部材	27
5.1 主要資材	27
6. 使用機械	28
6.1 主要機械	28
7. 施工管理	29
7.1 出来形管理	29
7.2 品質管理	30
参考資料	31
◇老朽化吹付モルタル面の調査（例）	31
◇L タイプ補強鉄筋長検討例	36
◇繊維補強モルタル吹付工の耐久性能確認試験	38
◇法面工低減係数の設定（フレームワッシャーRタイプ）	41

1. トーコンプラス工法の概要

1.1 工法概要

トーコンプラス工法は、老朽化した吹付モルタル面をはつり取ることなく、補強鉄筋工、繊維補強モルタル吹付工、空洞充填注入工などの技術を組み合わせて補修・補強することで安全性を向上させる工法である。

「解 説」

従来、老朽化した吹付モルタル面の対策は、既設吹付をはつり取り、背面地山の風化部を除去した後に、再度吹付を行う手法がとられていたが、はつり作業や風化した地山の整形作業には危険が伴うほか、交通規制や大量の産業廃棄物が発生するなどの問題があった。

本工法は原則として既設吹付をはつり取ることなく、以下の技術を組み合わせることにより既設法面の補修・補強を図るものである。

- ① 高水圧洗浄工
- ② 補強鉄筋打設工（地山の補強対策が必要な場合には鉄筋挿入工（Rタイプ）を検討）
- ③ フレームワッシャー設置工（施工タイプにより仕様が異なる）
- ④ ファスナーボルト打設工
- ⑤ 水抜き孔設置工
- ⑥ 注入孔設置工（背面空洞がある場合に実施）
- ⑦ 繊維補強モルタル吹付工（ $t=7\text{cm}$ ）
- ⑧ 空洞充填注入工（背面空洞がある場合に実施）



施工前



施工後

写真-1.1.1 トーコンプラス工法施工事例

1.2 目的

トーコンプラス工法は、老朽化した吹付モルタル面を補修・補強することで安全性を向上させることを目的とする。

「解 説」

モルタル・コンクリート吹付は、地山の風化・侵食・凍上防止を主目的として施工される。しかし、その機能は吹付材料の経年劣化や環境条件等により低下し、背面地山の風化や不安定化へと進行する（表-1.2.1 参照）。

トーコンプラス工法は、老朽化した既設モルタル面を、その機能が失われる前に、はつり取ることなく補修・補強する工法である。

表-1.2.1 モルタル・コンクリート吹付法面の劣化要因

劣化要因	現象	備考
吹付材料自体の劣化	ひび割れ，表面剥離 強度低下 など	経年劣化のほか，寒冷地では繰り返される凍結融解作用によって断面が減少することもある。
吹付材料と背面地山との密着性低下	浮き，空洞化，吹付材料の滑動とそれに伴うひび割れ 植生の侵入 など	湧水や法肩からの浸透水などで進行し，湧水が多い場所では風化により土砂化した部分が流出して背面に空洞が生じる。
地山強度の低下	開口ひび割れ，はらみ出し， 法面崩壊 など	風化により土砂化（脆弱化）すると，法面の安定性は大きく低下する。 土圧が作用し開口ひび割れや滑落等の変状が生じる。

1.3 適用範囲

トーコンプラス工法は、老朽化した吹付モルタル面を対象とする。

本工法によるモルタル吹付工の圧送距離は、ホース長 100m 以内、施工高さ 45m以内を標準とする。

「解 説」

- 1) 本工法は、背面地山の風化深さ、空洞の有無により以下のタイプに分類される。
- 各タイプの構造概略図を、図-1.3.1 および図-1.3.2 に示す。

表-1.3.1 トーコンプラス工法 施工タイプ

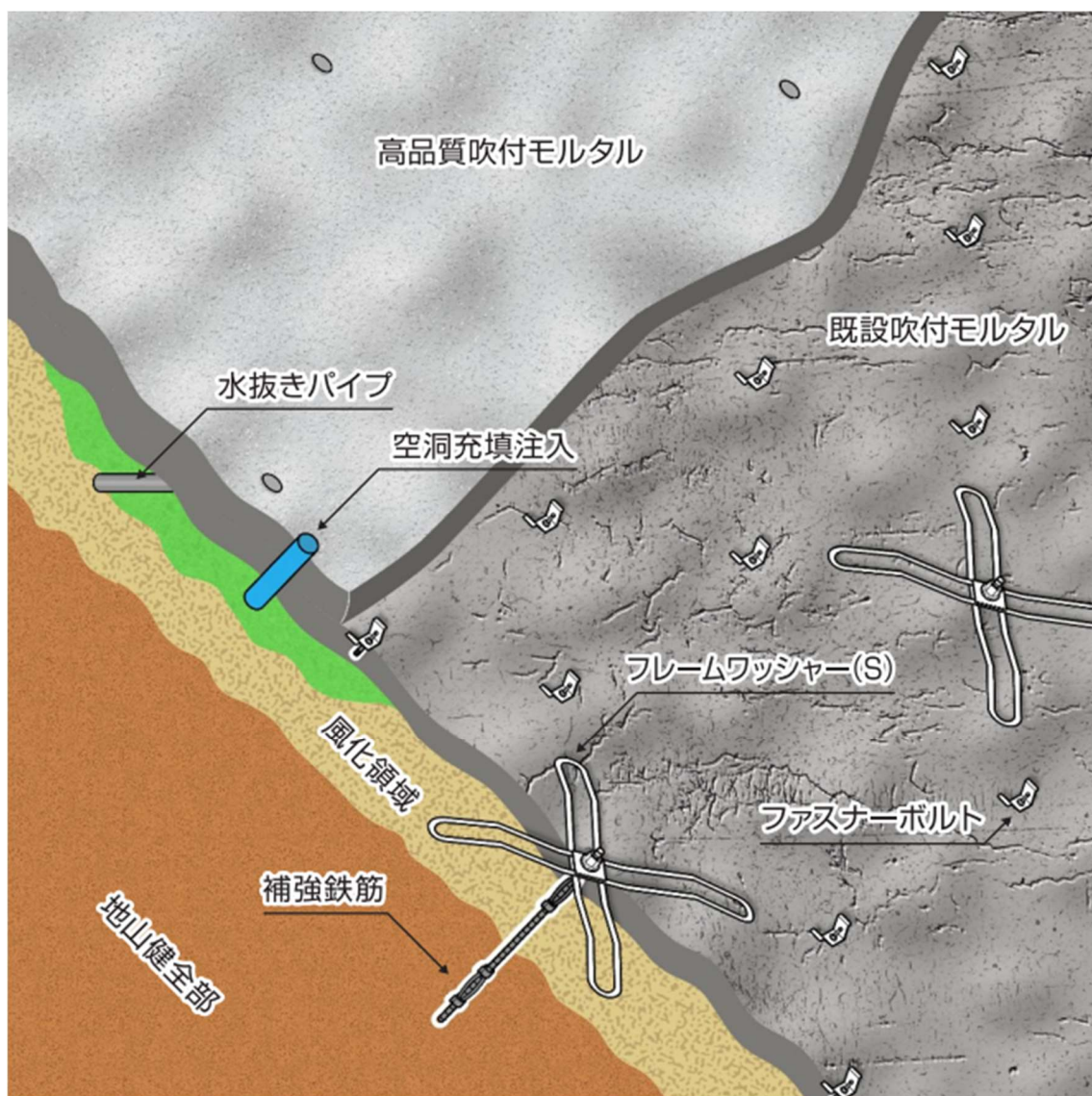
S タイプ, SG タイプ	背面地山の風化深さが 30 cm以下の場合に適用する。 ※風化深さ 8cm 以下の場合：S500 タイプ（補強鉄筋長 L=500） 風化深さ 8cm～30cm 以下の場合：S1000 タイプ（補強鉄筋長 L=1000） を適用する。
L タイプ, LG タイプ	背面地山の風化深さが 30cm～1.0m 以下の場合に適用する。 ※補強鉄筋長は現場条件を考慮して決定する。
R タイプ, RG タイプ	地山の補強対策が必要な場合や、背面地山の風化深さが 1.0m～3.0m 程度 の場合に適用する。 ※補強材長さは設計計算のうえ決定する。 なお、背面地山の風化深さが 3.0m 以下の場合でも、R、RG タイプを適用 できないケースもあるため、その場合は他工法（グラウンドアンカー工＋ 吹付法枠工など）を検討する。

※G タイプは、背面地山に空洞がある場合に、空洞充填注入を実施するタイプである。

なお、現場条件や既設吹付面の劣化状態によっては、部分的なはつり取り+再吹付を適用した方が望ましい場合がある。

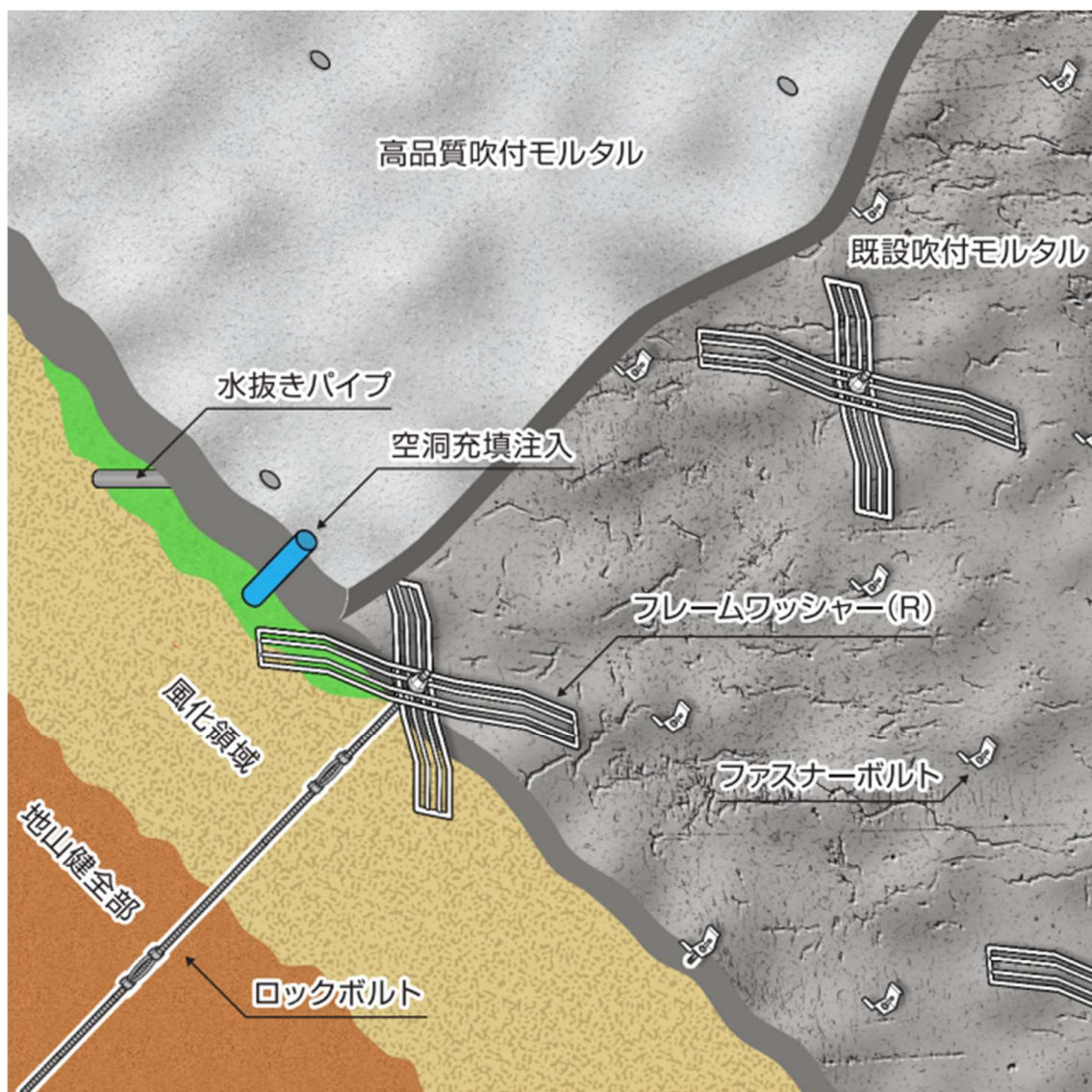
- 2) 以下の条件に該当する法面は、本工法の適用対象から除外する。

- ① 湛水部に施工された吹付法面
- ② 湧水箇所・湧水量が多く、既設吹付面を取り壊し確実な湧水処理対策が必要な法面
- ③ 亀裂面を介し、樹木が繁茂している法面
- ④ 既設吹付面の劣化が著しく、補修・補強では対応が困難な法面



※空洞充填注入は SG, LG タイプのみ実施する

図-1.3.1 S, SG, L, LG タイプ 構造概略図



※空洞充填注入は RG タイプのみ実施する

図-1.3.2 R, RG タイプ 構造概略図

- 3) モルタルを空気圧送方式（湿式）で施工する場合は，ホース長 100m 以内，施工高さ 45m以内を適用範囲とする。適用範囲内にプラントヤードを設置することが困難な場合には，長距離・高揚程のポンプ圧送吹付（ファーストクリート工法）による施工を検討する。

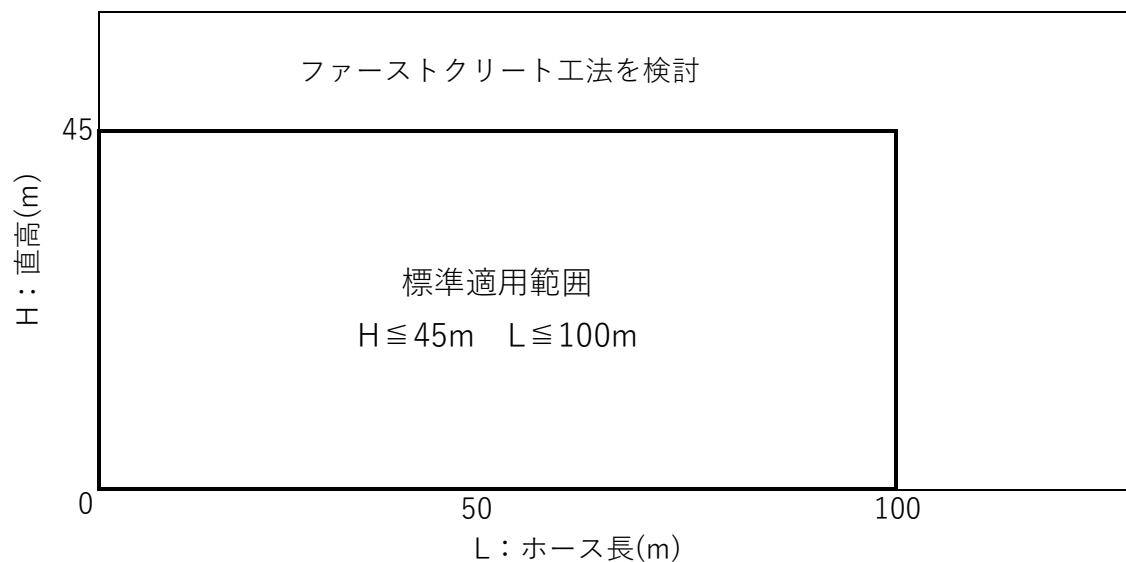


図-1.3.3 標準適用範囲

1.4 用語の定義

本書に用いる用語を以下のように定義する。

1) 老朽化吹付モルタル面

吹付材料の経年劣化や立地条件等により、背面地山の風化が進行している老朽化モルタル吹付法面のことをいう。なお、吹付モルタル面にはコンクリート吹付法面も含める。

2) 補修・補強

各種補強部材と繊維補強モルタル吹付により、地山と新旧モルタル・コンクリートの一体化を図り、より安定した法面にリニューアルすることをいう。

（背面地山に空洞がある場合は空洞充填を実施）

3) 増厚工

老朽化した吹付モルタルをはつり取らず、既設吹付面の上に増吹きすることをいう。増厚工には繊維補強モルタルを使用する。

4) 補強鉄筋

地山と新旧モルタル・コンクリートを一体化させることを目的として打設するものをいう。

※背面地山の風化深さが 1.0m を超え、地山の補強対策が必要な場合には鉄筋挿入工（R,RG タイプ）を検討する。

5) フレームワッシャー

補強鉄筋頭部に連結し、地山と新設吹付を一体化させるための部材のことをいう。

※R,RG タイプではフレームワッシャーRを使用する。

6) ファスナーボルト

既設モルタル吹付面に設置し、新旧モルタル吹付を一体化させるための部材のことをいう。

7) 繊維補強モルタル吹付工

短繊維（ポリプロピレンおよびポリエステル）を混入することで曲げタフネス等を向上させた繊維補強モルタルを法面に吹付することをいう。

8) 空洞充填注入工

既設モルタル吹付面と背面地山の空洞部にセメント系固化材を充填することをいう。

2. 老朽化吹付モルタル面の調査

2.1 調査一般

老朽化吹付モルタル面の調査には、設計時に行う設計時調査と、施工の初期段階に行う施工時確認調査がある。調査は設計時調査を基本とするが、十分な調査が行われていない場合には、別途協議により設計内容の妥当性を確認することを目的に、施工時確認調査を行うことを検討する。

「解 説」

老朽化吹付モルタル面の調査は設計段階で行うことを原則とする。設計時調査は、予備調査として各種資料を入手して、地形状況や斜面の概況を把握し、地盤調査等を行うことによって対策箇所の選定評価と詳細調査項目の内容を決定する。詳細調査は、既設吹付面の劣化状態や地山との密着性、背面地山の風化深さや空洞の有無などを把握して補修内容を決定することを目的とする。詳細調査の例を表-2.1.1 に示す。

調査は設計段階ですべてを行うことが望ましいが、対象法面の状態（草本の繁茂や落石防護網などの支障物がある場合）によっては十分な調査が行われていないことがある。そのような場合、法面補修・補強工事を適切に行うことを目的として、別途施工の初期段階で施工時確認調査を行うことを検討する。

施工時確認調査は、設計時調査の妥当性を確認するものとして設計時資料をもとに設計内容が妥当であるかを確認する。また、上記のような理由で詳細調査が行われていない場合、もしくは不十分な場合には、必要に応じて別途協議により詳細調査の補足・追加を行うものとする。

確認調査の結果、設計が現地に適さないと判断される場合には追加調査を行い、設計の見直しを協議する。なお、既設吹付面の変状は地すべりなどによって生じている場合もあるため、周辺の地形や地質、崩壊歴についても考慮する。

表-2.1.1 詳細調査の例

調査項目	調査手法
モルタル表面のひび割れ、開口亀裂の有無 など	目視調査、写真調査、ひび割れ調査 など
背面地山との密着性、表層剥離の有無、 背面空洞範囲 など	打音調査、コア抜き取り調査 熱赤外線調査 など
既設吹付厚さ、地山の風化深さ、 空洞深さ など	コア抜き取り調査、はぎとり調査、 鉄筋貫入調査 など

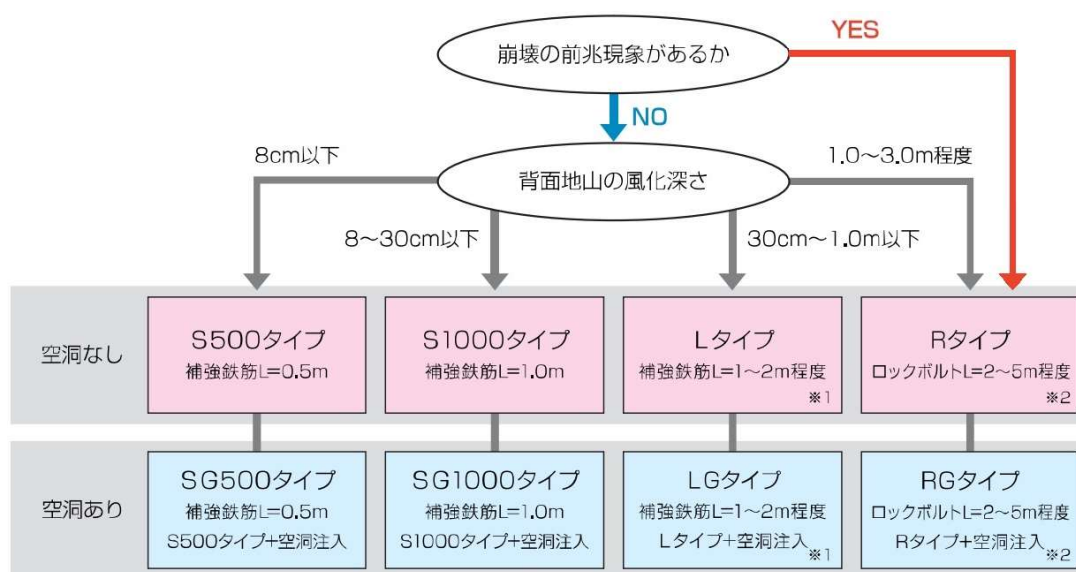
3. 設計

3.1 一般

トーコンプラス工法は、老朽化した既設吹付モルタル面を、はつり取ることなく補修・補強する工法であり、劣化度合いに応じて適切に状況を評価し、対策工の検討を行う。

「解説」

- 1) モルタル・コンクリート吹付の機能は、吹付材料の経年変化や立地条件による地山の風化・侵食作用により低下し、モルタルの剥離や空洞化による崩壊等、老朽化したインフラにより被害が生じる可能性がある。本工法を適用する際の標準的な選定フローを図-3.1.1 に示す。
- 2) 地山の風化深さが 1.0m を超える場合や崩壊の前兆が認められる場合は、地盤条件を適切に設定し、安定計算および鉄筋挿入工の設計により補強土 (R) タイプの適用を検討する。ロックボルトの設計は「切土補強土工法設計・施工要領」(東・中・西日本高速道路株式会社) などの基準書を参考に実施する。



※1 Lタイプは1m 超の補強鉄筋を使用するタイプであり、鉄筋長は現場条件を考慮して決定する。

※2 Rタイプはロックボルトを使用するタイプであり、安定計算等を行ったうえで適用可否を判断する。

また、背面地山の風化深さが 3.0m を超える場合は別途工法を検討する。

図-3.1.1 施工タイプ選定フロー

- 3) 吹付面が著しく劣化している場合は、吹付面内部の密実性も低下していると想定される。こうした吹付面に増厚工を施工すると、既設吹付内部から剥離することが考えられるため、一部もしくは全面はつり取り後に再吹付を行う方法も検討する。

3.2 増厚工（繊維補強モルタル吹付工）の設計

増厚工は短繊維（ポリプロピレンおよびポリエステル）を混入した、繊維補強モルタル吹付工（ $t=7\text{cm}$ ）を標準とし、設計基準強度は $f_{ck}=18\text{N/mm}^2$ とする。

「解 説」

- 1) モルタル吹付工では、ラス張工を併用することが一般的であるが、短繊維を混入することにより曲げタフネスが向上し、ラス金網の省略^{※1,2} と吹付厚の低減^{※1,3} が可能となった。

※1 一般的なモルタル吹付（金網有 $t=10\text{cm}$ ）と繊維補強モルタル吹付（金網無 $t=7\text{cm}$ ）について曲げタフネス試験を行い、短繊維を 1.0Vol%混入させることでラス金網の省略と吹付厚の低減が可能であることが確認されている（巻末資料参照）。ただし、発注機関に繊維補強モルタル吹付工の仕様が定められている場合には、その仕様に準じる。

※2 法面勾配が 1 : 0.3 より急な場合には、繊維補強モルタルのはく離や落下が生じる恐れがあるためラス張工を併用する。また、オーバーハング部が多くラス金網の設置が困難な場合や、初期強度が必要な場合にはアルカリフリー液体急結剤の使用を検討する。

※3 凍結融解による影響が懸念される地域では、吹付厚さ $t=10\text{cm}$ を検討する。

- 2) 法肩部が土砂化している場合には、流下水の侵入によりモルタル面の劣化や背面空洞が生じるおそれがある。そのため、吹付を地山に巻き込むように施工するなど、流下水の侵入を防止する対策を適切に実施する。ただし、地山が硬岩の場合など掘り込むことが困難な場合はこの限りではない。法肩処理の例を図-3.2.1 に示す。

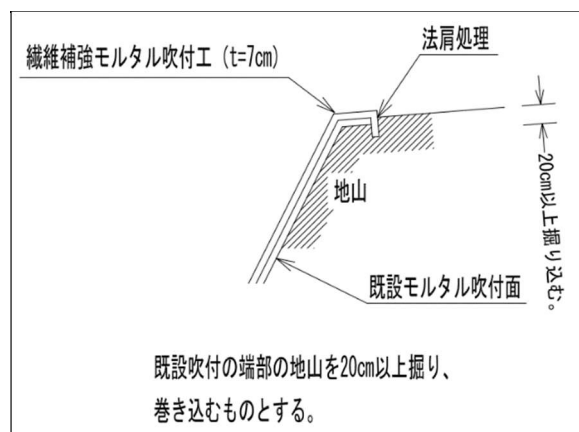


図-3.2.1 法肩処理の例

3.3 補強鉄筋の設計

補強鉄筋は崩壊の前兆がない場合に適用し、頭部にフレームワッシャーを連結することにより、地山と新旧モルタル吹付を一体化させることを目的として設置する。吹付背面地山の風化深さに応じて補強鉄筋の仕様を検討する。

「解 説」

- 1) 背面地山の風化深さが 30cm 以下の場合、安定計算等を用いた詳細検討を省略し、背面地山の風化深さに応じて補強鉄筋の長さを選定する。
- 2) 背面地山の風化深さが 30cm～1.0m 以下の場合、現場条件に応じて地盤条件を適切に設定し、補強鉄筋長を検討する。
- 3) 補強鉄筋の配置は 4m^2 （標準間隔 $2.0\text{m} \times 2.0\text{m}$ ，千鳥配置）に 1 本を標準とする。

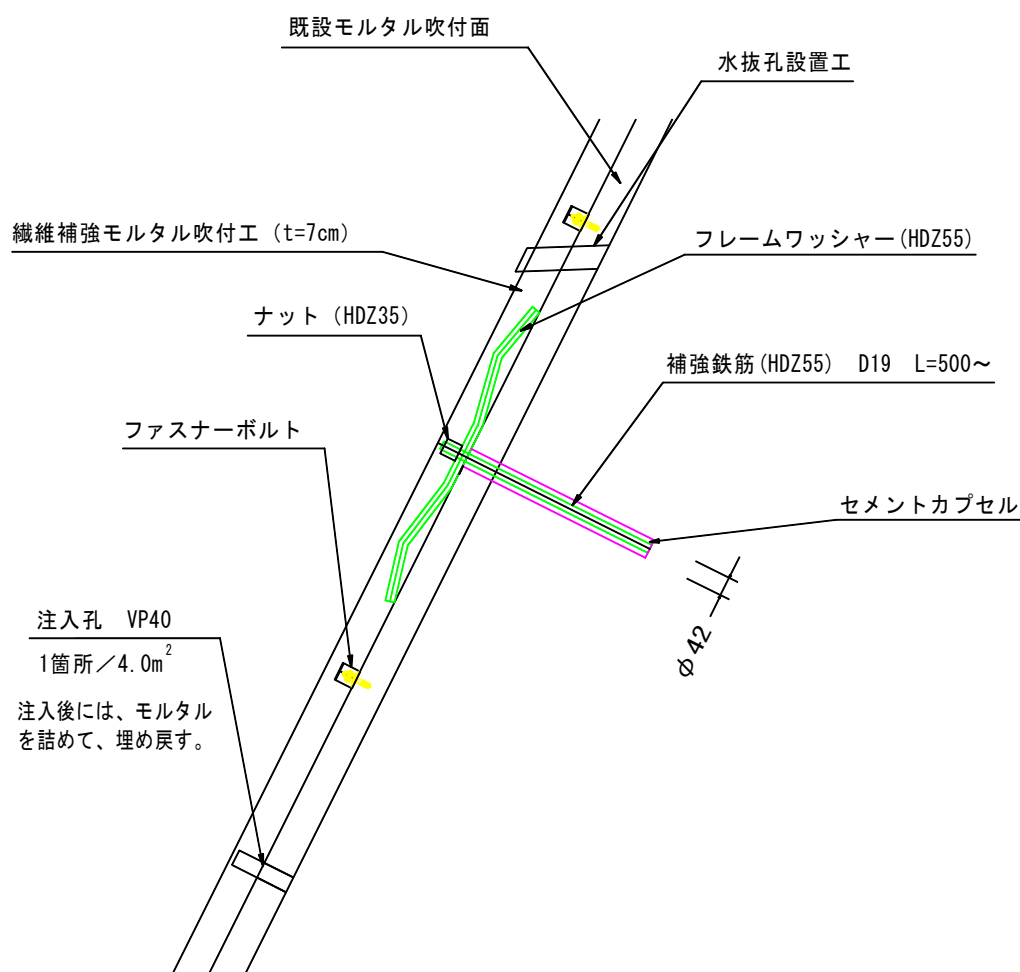


図-3.3.1 S, SG, L, LG タイプ標準断面図

3.4 ロックボルトの設計

トーコンプラス工法におけるロックボルトは、頭部にフレームワッシャーR を連結することにより、地山と新旧モルタル吹付面を一体化させるとともに、崩壊の前兆や変状が認められる場合、地山の風化深さが 1.0m を超える場合の地山補強として法面の安定を確保することを目的とする。

「解 説」

- 1) R, RG タイプは、地山の補強対策が必要な場合や、背面地山の風化深さが 1.0m～3.0m 以下の場合に適用する。
- 2) 地盤条件を適切に設定し、安定計算および鉄筋挿入工の設計により R, RG タイプの適用を検討する。ロックボルトの設計は「切土補強土工法設計・施工要領」（東・中・西日本高速道路株式会社）などの基準書を参考に実施する。

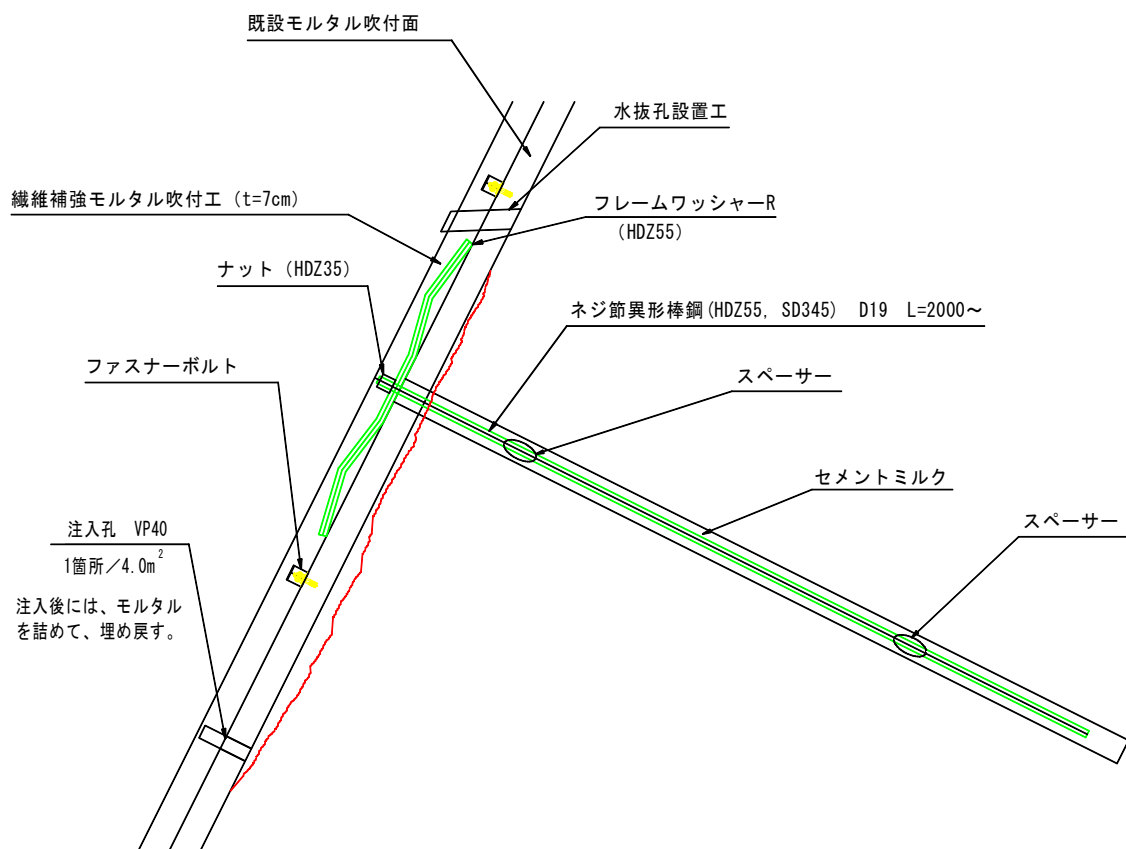


図-3.4.1 R, RG タイプ標準断面図

3.5 フレームワッシャーの設計

フレームワッシャーは補強鉄筋頭部に連結し、地山と新設吹付を一体化させることを目的に設置する。S, SG, L, LG タイプではフレームワッシャー, R, RG タイプではフレームワッシャーRを使用する。

「解説」

- 1) フレームワッシャーを設置することで地山と新設吹付を一体化し、空洞充填注入による吹付面の浮き上がりも抑える効果も期待できる。
- 2) フレームワッシャーRは、フレームワッシャーを強化した部材であり、鉄筋挿入工と繊維補強モルタル吹付 ($t=7\text{cm}$) を組み合わせた法面工低減係数は $\mu=0.6$ とする。
(巻末資料参照)
- 3) 設置間隔は補強鉄筋工の打設ピッチ (標準間隔 $2.0\text{m} \times 2.0\text{m}$, 千鳥配置) とし, 4m^2 に 1 基設置する。

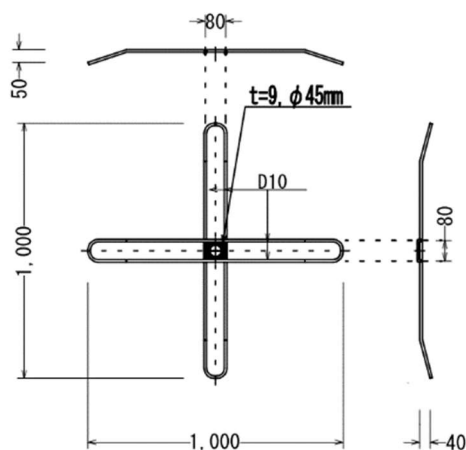


図-3.5.1 フレームワッシャー 標準図

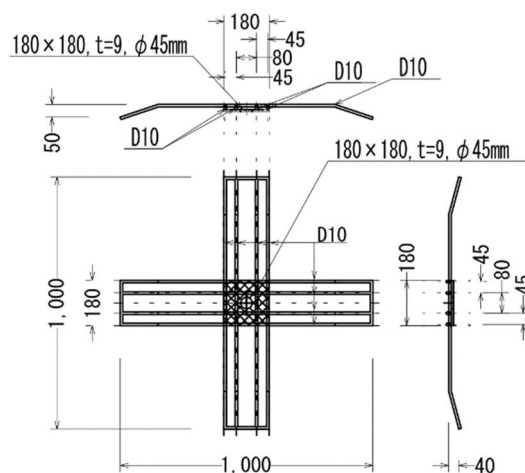


図-3.5.2 フレームワッシャーR 標準図

3.6 ファスナーボルトの設計

ファスナーボルトは、新旧モルタル吹付を一体化させることを目的に 4m²当り（フレームワッシャー1基につき）6個打設する。

「解 説」

ファスナーボルトはフレームワッシャーの効果を補って、新旧モルタル面の密着性を高めると同時に、新設吹付施工時のダレを防止する効果も期待できる。

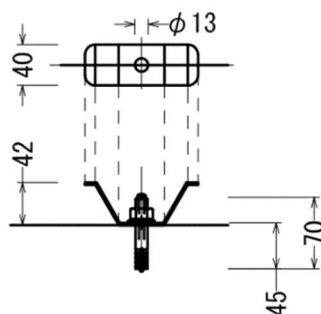


図-3.6.1 ファスナーボルト標準図

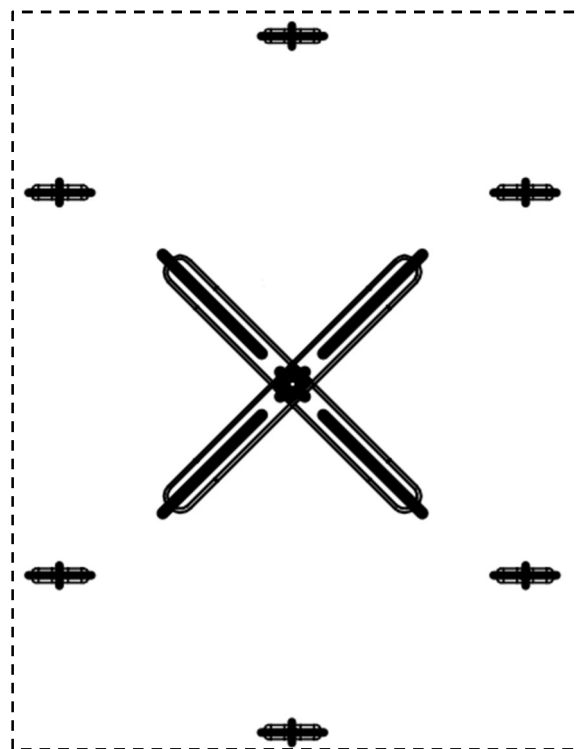


図-3.6.2 ファスナーボルト標準配置図

※設置位置は目安であり、補強鉄筋を中心に 4m²の範囲にまんべんなく配置する。

4. 施工

4.1 施工計画

施工対象箇所の周辺環境や制約条件等を勘案し、安全かつ効率的な施工ができるよう、現場状況に応じた施工計画を立案する。

「解説」

本工法の適用対象となる老朽化吹付モルタルは、社会インフラとして供用されている法面構造物であり、供用中の道路や公共施設等に隣接している場合がほとんどであると考えられる。したがって、現地踏査等による周辺環境や制約条件等を勘案した、安全かつ効率的な施工計画を立案しなければならない。

施工計画の立案における留意点を以下に示す。特に、第三者への災害・危害の防止対策については重点的に考慮しなければならない。

- ① 施工手順
- ② 仮設計画（施工プラントヤードの場所、施工箇所までの距離 など）
- ③ 施工方法
- ④ 第三者への災害・危害の防止対策
- ⑤ 周辺環境対策（排水処理方法、粉塵対策、リバウンド材の処理 など）

4.2 S, SG, L, LG タイプ

4.2.1 施工手順

トーコンプラス工法（S, SG, L, LG タイプ）の施工手順を図-4.2.1 に示す。なお、施工フローは現場条件に合わせて変更することがある。

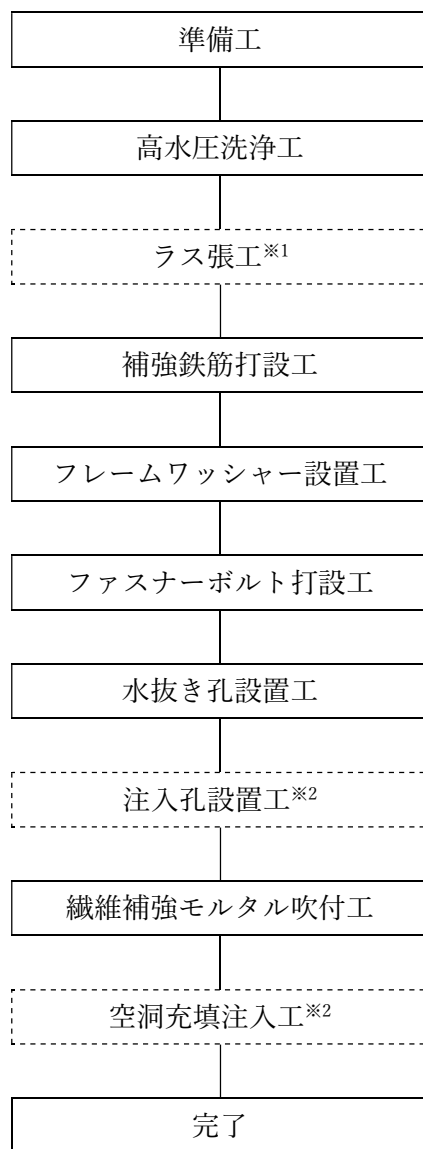


図-4.2.1 トーコンプラス工法（S, SG, L, LG タイプ）標準施工フロー

※1 法面勾配が1：0.3より急な場合には、ラス張工を併用する。

※2 空洞充填が必要な場合にはSG, LGタイプを適用し、「注入孔設置工」・「空洞充填注入工」を追加する。

4.2.2 施工方法

トーチコンクリート工法（S、SG、L、LG タイプ）の標準的な施工方法を以下に示す。なお、施工方法は現場条件に合わせて変更することがある。

1) 準備工

現地を確認したうえで現場状況に応じた施工計画を立案する。発注者・関係機関との事前協議を行い、関係機関への必要な手続きや周辺住民への周知を行う。

※確認調査の結果、設計が現地に適さないと判断される場合には追加の詳細調査等を行い、設計の見直しを検討する。

2) 高水圧洗浄工

既設吹付表面に付着している土砂や苔類などは、高圧水を用いて清掃する。清掃が不十分な場合、新設モルタル吹付の付着に影響を及ぼし、場合によっては剥落するおそれがある。

※伐開作業や、高水圧洗浄で除去できないもの（堆積土、草木、劣化の著しい既設モルタルのはつり取りなど）については、別途検討する。

なお、作業時は第三者への洗浄水の飛散や泥水の流出に十分注意する。



写真-4.2.1 高水圧洗浄工状況

3) ラス張工（併用する場合）

法面勾配が1：0.3より急な場合には、繊維補強モルタルのはく離や落下が生じるおそれがあるためラス張工を併用し、吹付材のダレや落下防止を図る。

ラス張工は、 $\phi 2.0\text{mm} \times 50\text{mm} \times 50\text{mm}$ のひし形金網の使用を標準とし、既設法面になじみよく設置して、主アンカーピン（ $\phi 16$ もしくは $D16 \times 400\text{mm}$ ）を3本/ 10 m^2 、補助アンカーピン（ $\phi 9$ もしくは $D10 \times 200\text{mm}$ ）を15本/ 10 m^2 打設して固定する。

4) 補強鉄筋打設工

(1) 補強鉄筋は 4m^2 当り 1 本（標準間隔 $2.0\text{m} \times 2.0\text{m}$ ，千鳥配置）打設する。

打設位置は，図-4.2.2（標準割付図）を参考にマーキングする。

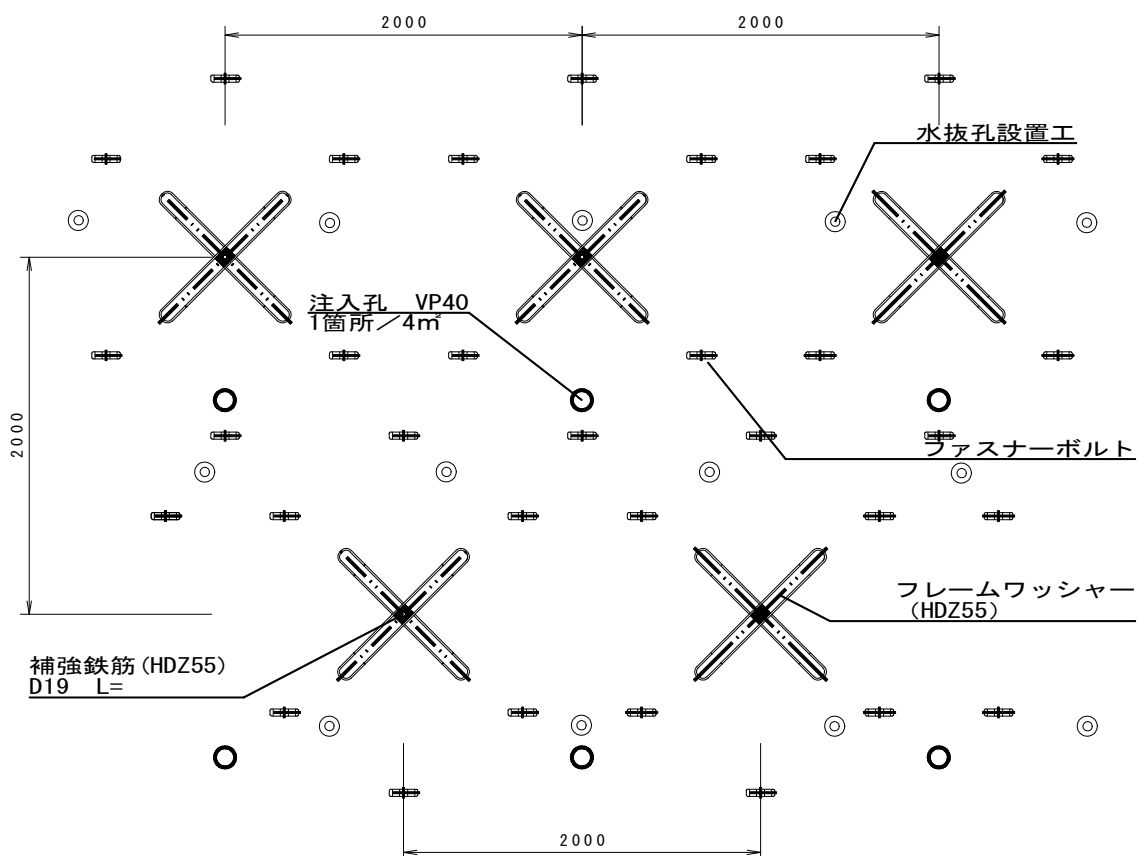


図-4.2.2 トーコンプラス工法標準割付図（参考）

(2) マーキングした位置に削岩機等を用いて、 $\phi 42\text{mm}$ の削孔径により、概ね法面直角方向に所定の深度まで削孔する。頭部余長は既設吹付面から 60mm を標準とする。

(3) 削孔時に既設モルタルと地山の空洞深さを確認し、当初設計との比較・照査を行い、空洞充填工の設計・施工計画の一助とする。

(4) 削孔した孔内に、水に 4～5 分間浸漬させた定着材（セメントカプセル）を必要本数挿入後、補強鉄筋を所定の位置まで挿入する。定着材が頭部背面まで充填されていることを確認後、硬化するまで固定する。

5) フレームワッシャー設置工

補強鉄筋（R，RGタイプの場合は鉄筋挿入工）の頭部にフレームワッシャーを取り付ける。フレームワッシャーと既設吹付面の間に空隙が生じないようにプレート背面にはモルタルを詰めナットにより締め付け固定する。既設吹付面に凹凸がある場合は、腕部鉄筋をできるだけ法面に馴染ませ、フレームワッシャーの端部が既設吹付面に密着するように曲げ加工して設置する。

なお、十字の腕部方向に定まったものではなく、既設吹付面に馴染む方向に合わせて設置する。



設置状況



設置完了

写真-4.2.2 フレームワッシャー設置手順



写真-4.2.3 凹凸部設置例

6) ファスナーボルト打設工

既設吹付面にハンマードリルで穿孔し、その孔にアンカーボルトを差し込み、ハンマー等を使用して打設・固定する。ファスナーボルトは、フレームワッシャー1基につき、6個打設することを標準とする。設置手順は写真-4.2.4 参照。

※既設吹付面の劣化や吹付厚さの不足等より、アンカーボルトの固定が困難な場合は、アンカーピンを用いて確実に固定する。



写真-4.2.4 ファスナーボルト設置手順

7) 水抜き孔設置工

既設吹付面をコアドリルや削岩機を使用して $\phi 65\text{mm}$ 程度で地山まで穿孔し、水抜き孔（VP50）を新たに設置・固定する。設置頻度は $2\text{m}^2 \sim 4\text{m}^2$ に1箇所を標準とするが、発注機関の仕様に準じる。

水抜き孔の設置に際し、繊維補強モルタル吹付により排出口が閉塞しないよう事前に養生する。（図-4.2.3 参照）

SG, LG タイプ（空洞充填タイプ）では、上記に加えて空洞充填注入工により閉塞しないよう、パイプの地山側も予めテープで塞ぎ、空洞充填注入完了後にパイプ内を清掃しテープを除去する。（図-4.2.4 参照）

※既設の水抜き孔については、吹付前にモルタル等で埋めておく。

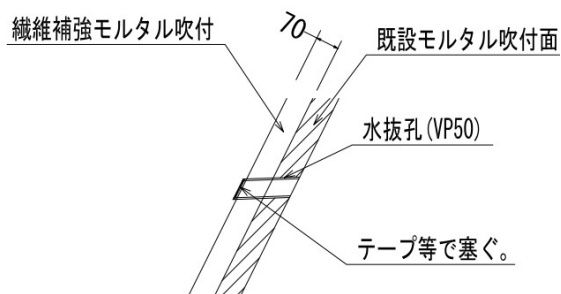


図-4.2.3 水抜き孔設置例（S, L タイプ）

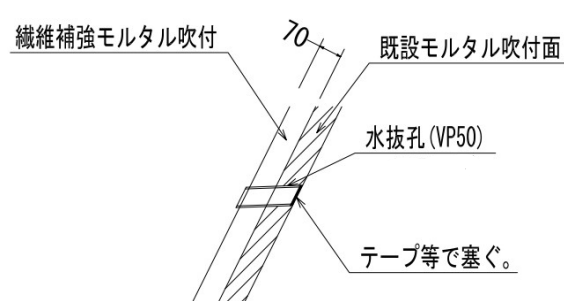


図-4.2.4 水抜き孔設置例（SG, LG タイプ）

8) 注入孔設置工 (SG, LG タイプ)

(1) 既設吹付面を $\phi 50\text{mm}$ 程度で穿孔し、注入孔 (VP40) を吹付面より 1cm 程度下がった状態になるように設置・固定する。設置頻度は 4m^2 に 1 箇所を標準とするが、補強鉄筋削孔時や、水抜き孔穿孔時に確認できる既設モルタル背面と地山の密着性、空洞状況等を勘案して設置個所を検討する。

(2) 既設モルタルの劣化が著しい箇所や、吹付厚さが薄い箇所、背面空洞が比較的大きいと想定される箇所については、既設モルタルの部分的なはつり取りも視野に入れ、注入孔の設置頻度を増やすなどして一度に注入する量を抑える対策を検討する。

※法肩付近にも空洞がある場合には、法肩最上部にも注入孔を設置する。

(3) 繊維補強モルタル吹付時、注入孔が閉塞されないように予め口元をテープ等で塞ぎ、吹付完了後に口元のモルタルと併せて除去する。(図-4.2.5 参照)

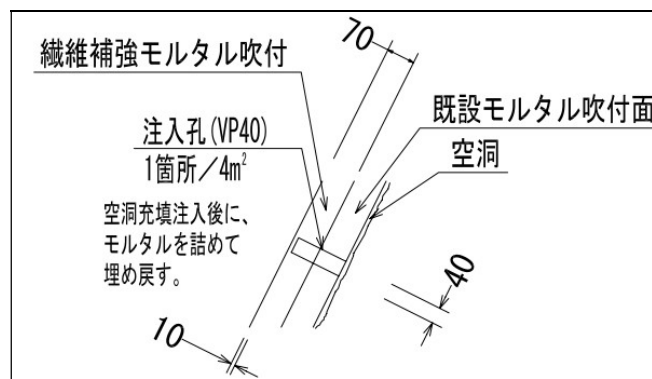


図-4.2.5 注入孔設置例

9) 繊維補強モルタル吹付工

(1) 新規モルタル吹付は、繊維補強モルタル（表-4.2.1 参照）を使用し、空気圧送方式による湿式吹付にて施工することを標準とする。

※¹ 吹付厚さ、設計強度、法肩処理については 3.2 増厚工の設計を参照。

※² 既設吹付面に伸縮目地が設置されている場合は、必要に応じて伸縮目地を設置する。

(2) 吹付前に散水して既設吹付面を湿らせる。吹付にあたっては、ノズルを吹付面に対して直角になるように保持して、適切な距離・圧力を保つようにする。
また、跳ね返った材料（リバウンド材）が巻き込まれないよう十分留意する。

(3) 吹付作業は、日平均気温 4℃～25℃の範囲内で行うことを原則とするが、現場条件等により困難な場合には必要な養生等の検討を行う。

表-4.2.1 繊維補強モルタル吹付工 標準配合（1m³あたり）

品名	単位	数量	備考
セメント	kg	420	普通ポルトランドセメントを標準とする
細骨材	kg	1,680	
短繊維 A バルチップ MK (PP)	kg	8.4	ポリプロピレン L=30mm 9.23L/m ³
短繊維 B キリファイバー (KF)	kg	1.26	ポリエステル L=20mm 0.91L/m ³
水 (W/C)	%	45～55	

※短繊維混入量の合計は、10.14L/ m³ [1.0vol%] を標準とする。

※短繊維の仕様について、発注機関により定められている場合は、当該仕様に準じる。

※オーバーハング部が多く、ラス金網の設置が困難な場合にはアルカリフリー液体急結剤の使用を検討する。添加量は標準添加量（混和剤によりことなる）を基本とする。

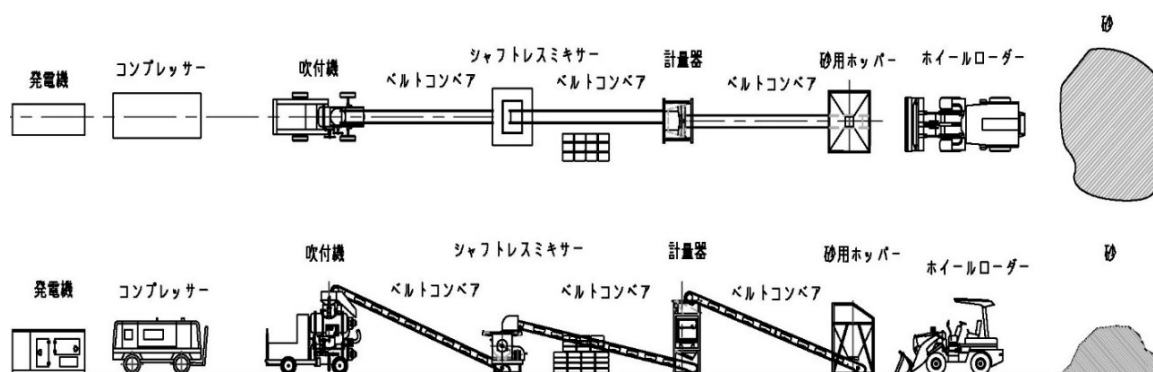


図-4.2.6 吹付プラント設置例

10) 空洞充填注入工 (SG, LG タイプ)

(1) 注入材は普通ポルトランドセメントの使用 (表-4.2.2 参照) を標準とする。

(2) 注入は吹付面の浮き上がりや注入材の脱水によるホース閉塞を防止するため、無加圧で注入する。注入速度は 10 l/min 程度を目安とし、注入作業は法面下部から上部方向に、縦断方向の低い方の端部から中央方向に向かって行う。近接する注入孔からの注入材流出や、注入圧力が上昇した場合に充填完了と判断するが、一度注入した注入孔のグラウト面に沈降が見られる場合には、追加注入を行う。

(3) 注入完了後、注入孔と新設吹付面が平滑になるように硬練りモルタル等で間詰めする。

表-4.2.2 空洞充填注入工 標準配合 (1m^3 当り)

品名	単位	数量	備考
普通ポルトランドセメント	kg	1230	
水 (W/C)	%	40~55	
混和剤	%	0.2~3.0	セメント量に対する添加量

※設計基準強度: $\sigma_{28} \geq 24\text{N/mm}^2$

※注入材が地山亀裂へ逸出している場合や、湧水が多く注入材が希釈されるおそれがある場合には、特殊混和材や水中不分離性グラウト等の使用を検討する。

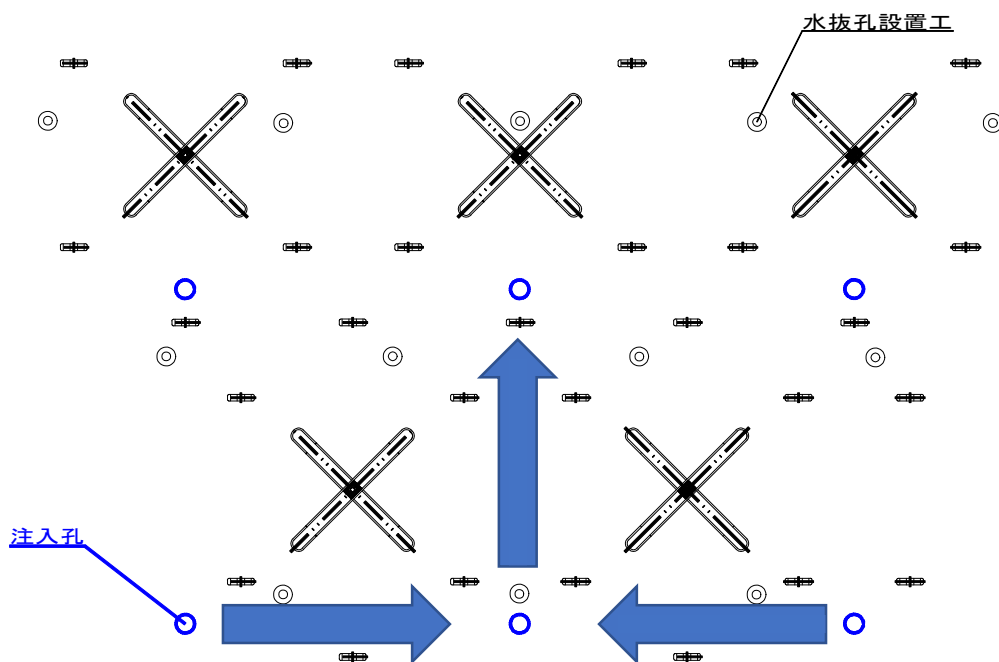


図-4.2.7 注入順序 (例)

4.3 R, RG タイプ

4.3.1 施工手順

トーコンプラス工法（R, RG タイプ）の施工手順を図-4.3.1 に示す。なお，施工フローは現場条件に合わせて変更することがある。

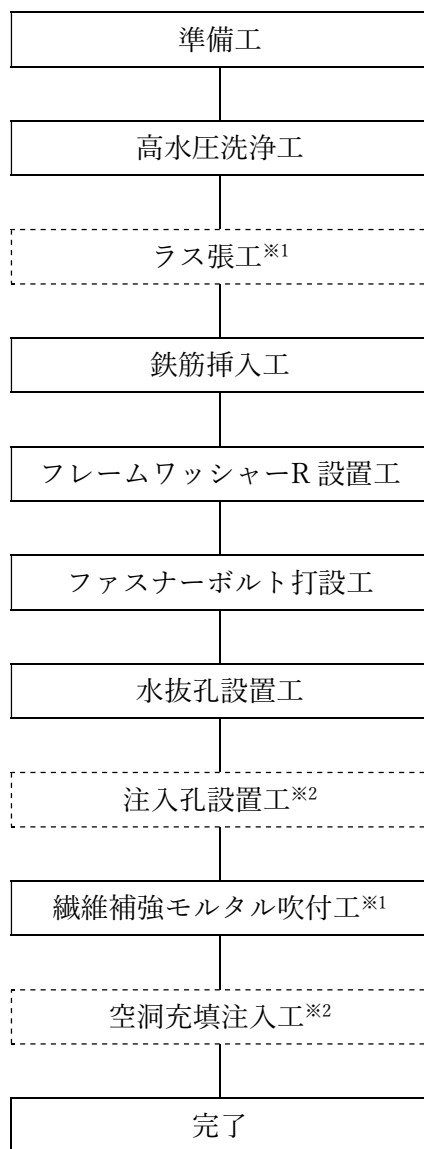


図-4.3.1 トーコンプラス工法（R, RG タイプ）標準施工フロー

※1 法面勾配が1：0.3より急な場合には，ラス張工を併用する。

※2 空洞充填が必要な場合にはRGタイプを適用し，「注入孔設置工」・「空洞充填注入工」を追加する。

4.3.2 施工方法（R タイプ）

トーコンプラス工法（R, RG タイプ）の標準的な施工方法を以下に示す。なお、施工方法は現場条件に合わせて変更することがある。

1) 鉄筋挿入工

- (1) あらかじめ決められた位置に、削孔機械を使用して所定の深度まで削孔する。
※削孔機械は現場条件に応じて適切な機械を選定する。
- (2) 削孔した孔内に注入ホースを差し込み、孔底からグラウトを注入する。注入完了は孔口流出によって確認する。
- (3) 注入材は普通ポルトランドセメントの使用（表-4.2.2）を標準とし、地山亀裂へ逸出している場合や、湧水により希釈されるおそれがある場合には、パッカーや特殊混和材、水中不分離性グラウト等の使用を検討する。
- (4) あらかじめスペーサーを取り付けたロックボルトを所定の位置まで挿入する。挿入後は補強材を動かしたり、振動させたりして付着強度を低下させることのないように注意する。
- (5) グラウト硬化後、補強材頭部背面の空洞を固練りモルタル等で間詰めする。

5. 使用部材

5.1 主要資材

トーコンプラス工法で使用する主要資材を以下に示す。

◇ 補強鉄筋打設工

表-5.1.1 材料表（補強鉄筋 1 本当り）

名称	仕様	単位	数量	摘要
補強鉄筋	D19,HDZ55,SD345,L=0.5m ～	本	1	補強鉄筋の長さは 現場条件による
セメントカプセル	φ 32×600	本	必要本数	

◇ フレームワッシャー設置工

表-5.1.2 材料表（フレームワッシャー 1 基当り）

名称	仕様	単位	数量	摘要
フレームワッシャー	D10,HDZ55,SD345	基	1	S, SG, L, LG
フレームワッシャーR	1000×1000			R, RG
ナット	D19 用,HDZ35	個	1	

◇ ファスナーボルト打設工

表-5.1.3 材料表（ファスナーボルト 1 個当り）

名称	仕様	単位	数量	摘要
ファスナーボルト	T=2.3mm	個	1	

※ネールアンカー部本体：SUS304 相当, 心棒：SU431 相当, プレート部：SPHC(熱間圧延軟鋼板 JIS G3131)

◇ 鉄筋挿入工

表-5.1.4 材料表（ロックボルト 1 本当り）

名称	仕様	単位	数量	摘要
ネジ節異形棒鋼	D19,HDZ55,SD345, L=2.0m～	本	1	補強材の長さは 設計計算による
注入材	普通ボルトランドセメント $\sigma 28 \geq 24\text{N/mm}^2$	L	必要量	標準配合は 表-4.2.2 参照

6. 使用機械

6.1 主要機械

現場条件に応じて、適切な機械を選定する。トーコンプラス工法で使用する主要機械を表-6.1.1 に示す。

表-6.1.1 主要機械一覧

工種	機械名称	規格	台数	摘要
高水圧洗浄工	高圧洗浄機	吐出量 35～70 ℓ /分, 圧力 14.7MPa	1 台	
補強鉄筋 打設工	削岩機	ハンドハンマー15kg 級	2 台	
	空気圧縮機	10.5～11.0m ³ /min, 0.7MPa	1 台	
ファスナー ボルト打設工	電動ドリル	鉄工用 10～20mm	2 台	
	発動発電機	ディーゼルエンジン, 10/13kVA	1 台	
水抜き孔 設置工	削岩機	ハンドハンマー15kg 級	2 台	
	空気圧縮機	10.5～11.0m ³ /min, 0.7MPa	1 台	
注入孔 設置工	削岩機	ハンドハンマー15kg 級	2 台	
	空気圧縮機	10.5～11.0m ³ /min, 0.7MPa	1 台	
繊維補強 モルタル吹付工	モルタル吹付機	湿式 0.8～1.2m ³ /h	1 台	
	空気圧縮機	10.5～11.0m ³ /min, 0.7MPa	1 台	
	発動発電機	ディーゼルエンジン, 37/45kVA	1 台	
	ベルトコンベア	7m	2 台	
	トラクタショベル	ホイール式 0.34m ³	1 台	現場練
空洞充填 注入工	グラウトミキサ	2kW,200L×2, 縦型 2 層式	1 台	
	グラウトポンプ	スクイズ式 インバーター付 ※現場条件によってはダイヤフラムポンプを使用	1 台	
	発動発電機	ディーゼルエンジン, 25kVA	1 台	
	流量計		1 台	
	水槽	5m ³	1 基	
鉄筋挿入工	削孔機械他	鉄筋挿入工に準じる	1 式	

7. 施工管理

7.1 出来形管理

各工種の出来形管理基準を表-7.1.1 に示す。なお、発注機関によって管理基準が定められている場合は、発注機関の仕様に準じて管理する。

表-7.1.1 出来形管理基準

工種	管理項目	管理基準	摘要
補強鉄筋打設工 S,SG,L,LG タイプ	削孔長	設計値以上	200m ² (50 本)に 1 箇所
	削孔角度	± 5.0°	200 m ² (50 本)に 1 箇所
	打設間隔	± 100mm	200 m ² に 1 箇所
フレームワッシャー 設置工	設置基数	1 基/4m ²	200 m ² に 1 箇所
ファスナーボルト 打設工	打設本数	6 個/フレーム ワッシャー1 基当り	200m ² に 1 箇所
水抜き孔設置工	設置本数	発注機関の仕様に準じる	
注入孔設置工	設置本数	1 本/4m ²	200m ² に 1 箇所
繊維補強 モルタル吹付工	吹付厚	発注機関の仕様に準じる	
	法長	発注機関の仕様に準じる	
	施工延長	発注機関の仕様に準じる	
空洞充填 注入工	注入量	実績	流量計もしくは空袋
鉄筋挿入工 R,RG タイプ	削孔長	設計値以上	全本数
	削孔角度	± 2.5°	全本数
	打設間隔	± 100mm	200m ² に 1 箇所
	注入量	実績	流量計もしくは空袋
	注入材充填状況	地山孔口まで充填	200m ² に 1 箇所

7.2 品質管理

各工種の品質管理基準を表-7.2.1 に示す。なお、発注機関によって管理基準が定められている場合は、発注機関の仕様に準じて管理する。

表-7.2.1 品質管理基準

工種	管理項目	規格値	試験方法	摘要
補強鉄筋打設工 S,SG,L,LG タイプ	補強鉄筋	—	試験成績表 による確認	
	固定材	—		
フレームワッシャー 設置工	材質・寸法	—		
ファスナーボルト 打設工	材質・寸法	—		
水抜き孔設置工	材質	—		
注入孔設置工	材質	—		
繊維補強 モルタル吹付工	セメント	—		
	細骨材	—		
	短繊維	—		
	砂の表面水率	—	JIS A1111	試験頻度は発注 機関の仕様に準 じる。
	塩化物イオン	0.3kg/m ³ 以下		
	圧縮強度	18N/mm ² 以上	JIS G1108	
空洞充填 注入工	セメント	—	試験成績表 による確認	
	混和剤	—		
	圧縮強度	24N/mm ² 以上	JIS G1108	1 回/日, 3 本/回 σ28 強度とする。
ロックボルト R,RG タイプ	補強鉄筋	—	試験成績表 による確認	
	セメント	—		
	混和剤	—		
	圧縮強度	24N/mm ² 以上	JIS G1108	1 回/日, 3 本/回 σ28 強度とする。
	フロー値	9～22 秒	JIS R5201	試験頻度は発注 機関の仕様に準 じる。

参考資料

◇老朽化吹付モルタル面の調査（例）

老朽化したモルタル吹付面に発生する代表的な変状は下記のとおりである。

- ・部分的な剥離
- ・モルタル吹付の破壊
- ・空洞の発生，地山との密着性の消失
- ・表層の強度低下
- ・モルタル吹付片の落下

これらの変状の発生状況・分布および進展の度合いを考慮して，調査対象法面の健全性を判定する（図-1 参照）。

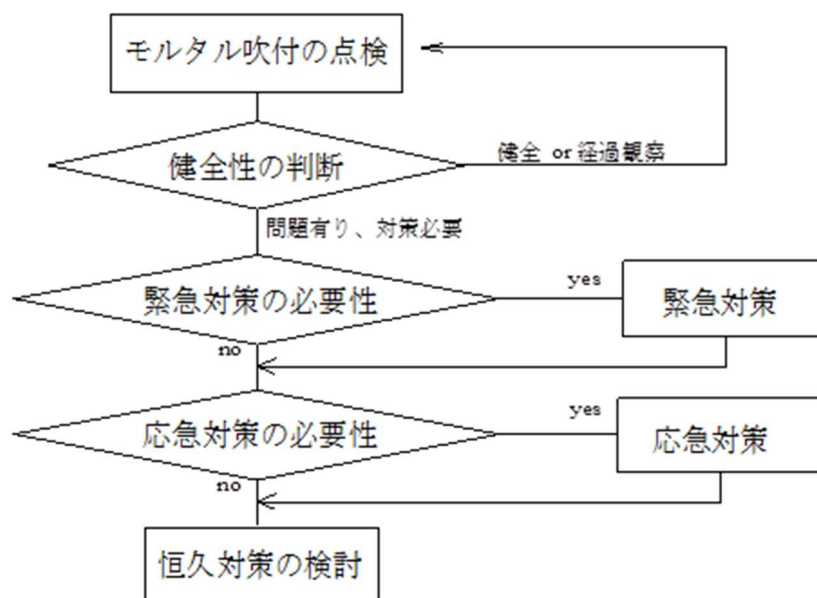


図-1 老朽化モルタル吹付法面の点検フロー図

点検の結果，問題有りと判断される場合には，緊急対策，応急対策，恒久対策を必要に応じて検討しなければならない。老朽化モルタル吹付面の調査には，下記のような種類がある。

- 1) モルタル面の変状調査
- 2) モルタル面の空洞調査
 - ① 熱赤外線画像法を用いたモルタル吹付面の診断
 - ② 打音調査
 - ③ 削孔調査
- 3) モルタル面背面地山貫入調査

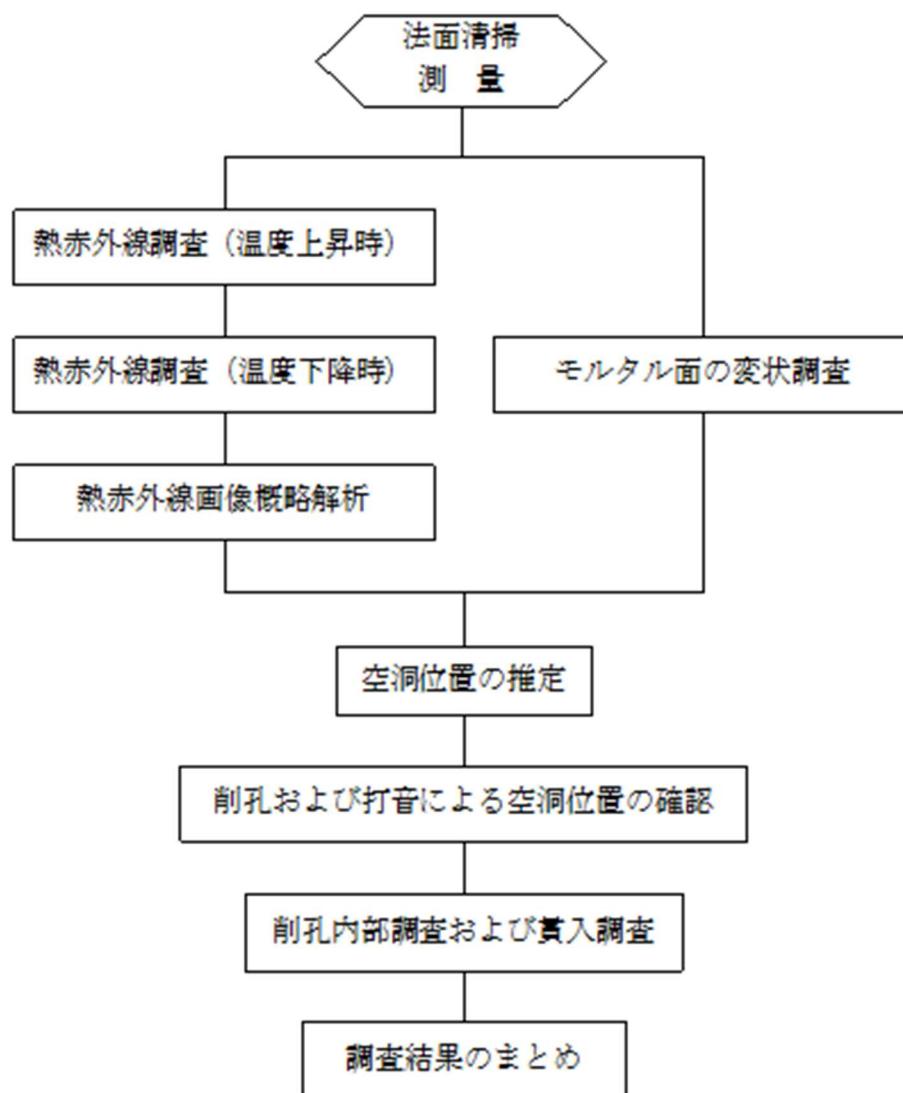


図-2 モルタル吹付面および背面調査のフローチャート

○モルタル面の変状調査

モルタル吹付面に発生している変状をスケッチして記録に残す。主な変状は前記のとおりである。変状の発生位置、大きさ、延長などを詳細に記録する。モルタル吹付は薄層構造体であるため、地山の動きを亀裂として感知するセンサーであるともいえるため、関連性を考慮してスケッチを実施する。

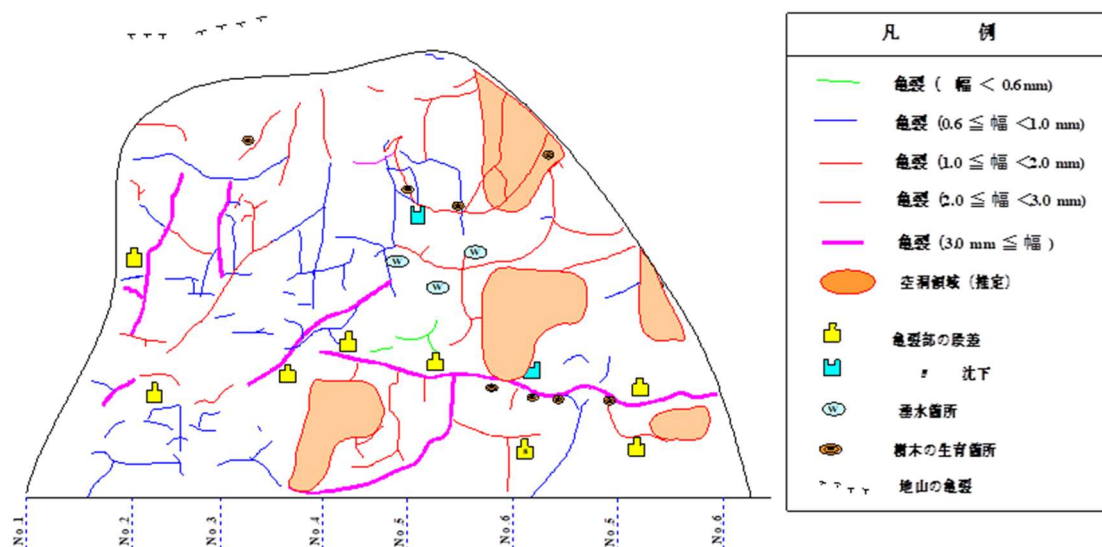


図-3 老朽化モルタル吹付面の変状分布調査(例)

図-3 に示した事例では、斜めに連続する雁行亀裂および水平に分布する亀裂の形状から、地山の動きの可能性が懸念された事例である。この調査により、法肩上方に亀裂が発見されたので地すべり対策が実施された。

なお、空洞の推定位置は熱赤外線映像法を用いた法面診断の結果により推定したものである。この例に示すような地すべり的な変動がないと判断される場合のみトーチコンクリート工法が適用できるため、亀裂分布についてはその形状や段差の有無などに十分留意してスケッチを行う。

○モルタル面の空洞調査

モルタル吹付面の背面に分布する空洞調査には下記の手法がある。

- ① 熱赤外線映像法を用いたモルタル吹付面の診断
- ② 打音調査
- ③ 削孔調査

この他に、地中レーダーを用いた調査など、各種調査法があるが、実用的なものは上記3手法である。このうち熱赤外線映像法を用いた法面診断は、概略調査には向いているが、表面温度のみでは空洞の有無を判断できないため、その他の手法を併用して空洞の有無を確認する必要がある。

○熱赤外線映像法を用いた法面診断

熱赤外線画像法を用いたモルタル吹付面の診断方法は、下図のような地山からの熱移動の差異を利用して、背面構造を推定しようとするものである。

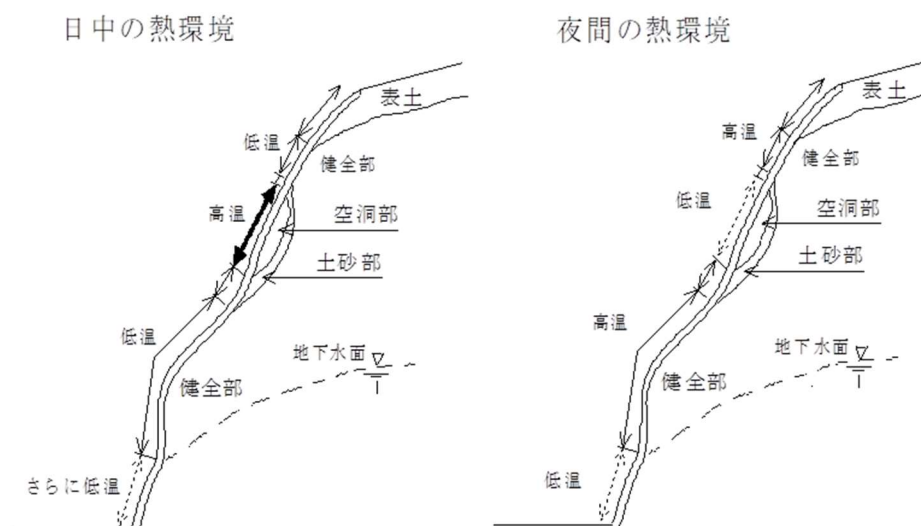


図-4 熱移動説明図(出展:熱赤外線映像法による法面診断マニュアル)

測定されるのは表面温度という物理量だけなので、空洞部と想定される部分を削孔して空洞を確認する。化粧吹付が行われてリバウンドを挟む場合も、空洞と同じ熱蓄積現象が表面に現れるので、打音調査や削孔調査により、空洞の有無を確認しなければならない。

これらの調査により空洞が確認されると、画像調査結果の傍証が得られたことになり、画像解析の信頼性が向上する。

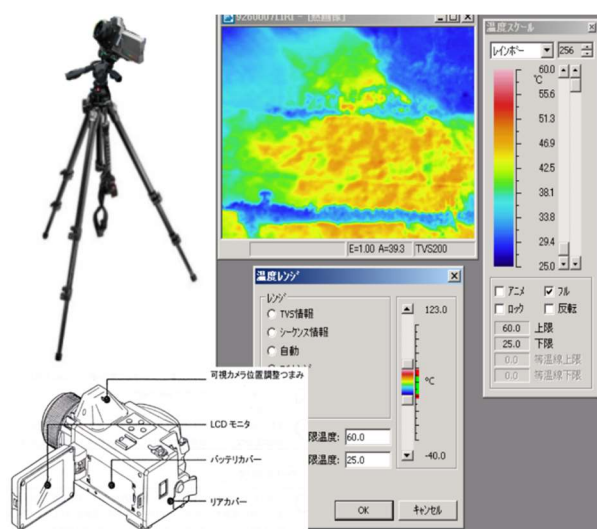


図-5 赤外線カメラおよび熱画像(例)

○モルタル面背面地山貫入調査

モルタル吹付面を削孔して、内部地山の状況を確認するとともに、人力打ち込みにより貫入試験を実施する。貫入試験に使用する貫入棒の形状例を図-5に示す。

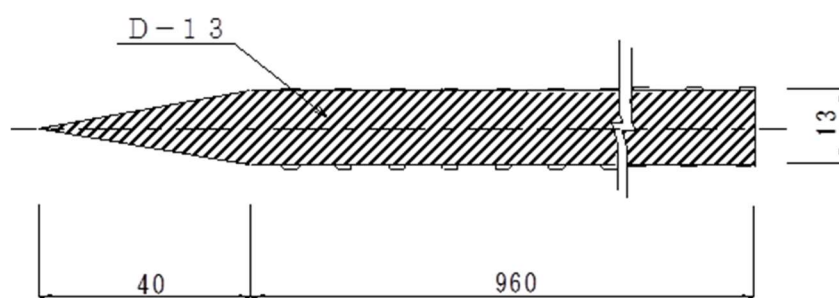


図-5 貫入棒の例

削孔箇所については、表面の地質を確認するとともに、下記の項目を測定し記録する。

- 1) モルタル吹付最大厚・最小厚 … 平均厚を出すために測定
- 2) 空洞深さ … 地山から吹付表面までの長さー吹付厚
- 3) 初回貫入深 … 表層の風化度合いを示すもの
- 4) 打撃回数 … 貫入不能と判断するまでの打撃回数
- 5) 最終貫入深 … 貫入深さが測定できない抵抗を示す深さ

図-6 は、貫入深さの傾向を見るために測定値を図化したものである。これにより風化の異なる地層が分布することが推定できる。

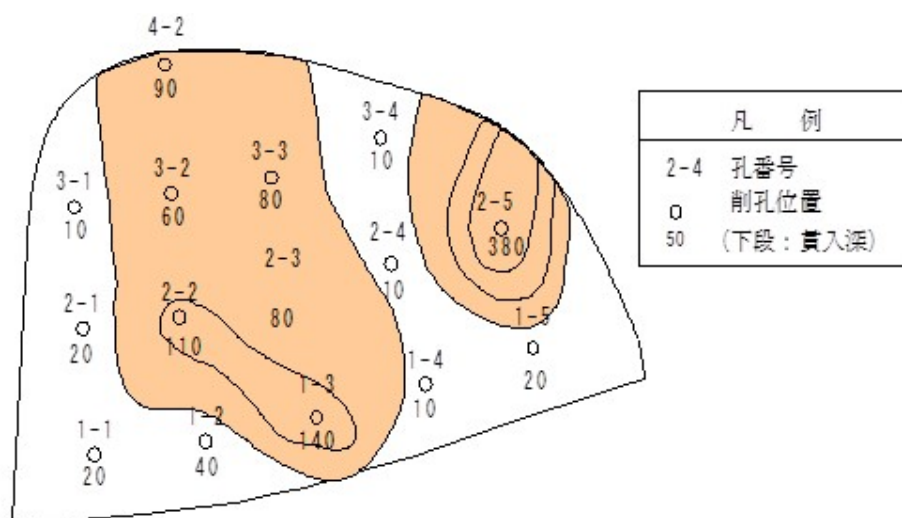


図-6 貫入深分布図

◇L タイプ補強鉄筋長検討例

トーコンプラス工法L(G)タイプの検討

下図に示すような老朽化した既設吹付と風化層が一体となって直線すべりが発生すると想定する。すべり面角度は斜面勾配と平行とする。

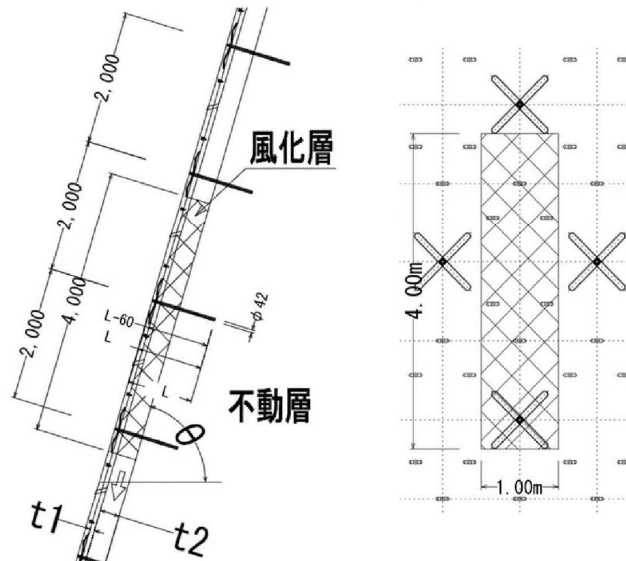


図1 計算モデル

図1に示した1本の補強鉄筋が負担するエリアで検討する。

横	a	=	1.00 m
縦	b	=	4.00 m
設定条件			
検討断面の形状			
斜面勾配		1:	0.3
(斜面角度 α)	α	=	73.3°
既設吹付 吹付厚	t1	=	0.10 m
新規吹付 吹付厚	t	=	0.07 m
風化層の厚さ	t2	=	0.50 m
		=	50 cm = 500 mm
風化層および既設吹付			
風化層の内部摩擦角	ϕ	=	35.00°
風化層の単位体積重量	γ_2	=	19 kN/m ³
吹付モルタルの単位体積重量	γ_1	=	23 kN/m ³
計画安全率	pFs	=	1.20
補強鉄筋			
全長	L	=	1.50 m
		=	150 cm = 1,500 mm
余長	l3	=	6 cm
定着長 = 全長 - (余長 + 風化層 + 既設吹付厚)	l2 = L - (l3 + t2 + t1)	=	84 cm = 840 mm
全長 - 定着長	L - l2	=	66 cm = 660 mm
補強鉄筋の打設角度 (法面に直角)	$\delta = 90 - \alpha$	=	16.7°
補強鉄筋と想定すべり面の角度	β	=	90°
削孔径	D	=	42 mm
補強鉄筋とグラウトの許容付着力	τ_c	=	1.6 N/mm ²
グラウトと地盤 (不動地山) の極限周面摩擦抵抗力	τ_p 不動地山	=	0.8 N/mm ²
補強鉄筋の径 (腐食しろ1.0mm考慮)	d	=	18.1 mm
補強鉄筋の断面積	As	=	257.3 mm ²
許容引張り応力度	σ_{sa}	=	200.00 N/mm ²
許容せん断応力度	τ_a	=	115.48 N/mm ²
補強材の引張り力の低減係数	λ	=	0.7
極限周面摩擦抵抗の安全率	f _{sa}	=	2.0

計算結果

必要抑止力の算出

既設吹付の重量	$w1 = a \times b \times t1 \times \gamma 1$	=	9.20 kN
風化層の重量	$w2 = a \times b \times t2 \times \gamma 2$	=	38.00 kN
重量計	$W = w1 + w2$	=	47.20 kN
すべり力	$Q = W \sin \alpha$	=	45.21 kN
必要抑止力	$Pr = Q \times 20\%$	=	9.05 kN
補強鉄筋の設計引っ張り力	$P = Pr / (\lambda \cdot (\cos \beta + \sin \beta \cdot \tan \phi))$	=	18.47

補強鉄筋の計算

許容付着力の算出	$tpa = \tau p \times \pi \times D / fsa$	=	52.77 kN/m
	$tca = \tau c \times \pi \times d$	=	90.98 kN/m
不動地山の有効定着長	L	=	0.84 m
補強鉄筋の許容補強材力の算出	$tpa' = L \times tpa$	=	44.32 kN/本
	$tsa' = \sigma sa \times As$	=	51.46 kN/本
	$Tpa = \min(tpa', tsa')$	=	44.32 kN/本 $\geq P$ …OK

※ 参考資料

表1 異形鉄筋と注入材の許容付着応力(N/mm²)

注入材の設計基準強度	18	24	30
異形鉄筋	1.4	1.6	1.8

出典：切土補強土工法設計・施工要領(東日本・中日本・西日本高速道路各社)

表2 極限周面摩擦抵抗の推定値 (N/mm²)

地盤の種類			極限周面摩擦抵抗(N/mm ²)
岩盤	硬岩		1.20
	軟岩		0.80
	風化岩		0.48
	土丹		0.48
砂礫	N値	10	0.08
		20	0.14
		30	0.20
		40	0.28
		50	0.36
砂	N値	10	0.08
		20	0.14
		30	0.18
		40	0.23
		50	0.24
粘性土			0.8×C (Cは粘着力)

出典：切土補強土工法設計・施工要領(東日本・中日本・西日本高速道路各社)

表3 異形棒鋼の諸元(SD345、許容引張応力度 $\sigma sa = 200N/mm^2$)

項目	単位	呼 び 名			備 考
		D19	D22	D25	
公称直径	mm	19.1	22.2	25.4	
公称周長	mm	60	70	80	
公称断面積	mm ²	286.5	387.1	506.7	
有効直径(d)	mm	18.1	21.2	24.4	腐食しろ1.0mm考慮
有効断面積	mm ²	257.3	353.0	467.6	〃
許容引張力(T _{sa})	kN	51.46	70.60	93.52	〃
許容せん断力(T _{sa})	kN	29.71	40.76	53.99	〃

表4 極限周面摩擦抵抗の安全率

項目	安全率
永久(長期)	2.0
仮設(短期)	1.5

出典：切土補強土工法設計・施工要領(東日本・中日本・西日本高速道路各社)

◇繊維補強モルタル吹付工の耐久性能確認試験

トーコンプラス工法は、繊維（ポリプロピレンとポリエステル）を混入することで、ラス金網張工の省略と吹付厚の低減を図っているが、モルタル吹付工の一般的な吹付厚さである 10cm と同等以上の性能を確保する必要がある。そこで、モルタル吹付工と繊維補強モルタル吹付工について、吹付により供試体を作成し、曲げ強度および曲げタフネス試験による性能確認を行った。曲げ強度および曲げタフネス試験は JSCE-G552-2013「鋼繊維補強コンクリートの曲げ強度および曲げタフネス試験方法(案)」に従って実施した。

【曲げ強度および曲げタフネス試験 試験内容】

曲げ強度および曲げタフネス試験は、以下の 2 タイプについて実施した。

①1:4 モルタル (N) ーラス金網 $\phi 2.0$ (# 14) -50mm×50mm)

②繊維補強モルタル (KF+PP)

ー1:4 モルタル+ポリエステル (キリファイバー (KF) : 1.26kg/m³)

+ポリプロピレン (バルチップ MK (PP) : 8.4kg/m³) 計 9.66kg/m³ (1.0vol%)



写真-1 供試体作成状況

①1:4 モルタル (N)



写真-2 供試体作成状況

②繊維補強モルタル (KF+PP)



写真-3 曲げ強度・曲げタフネス試験状況

①1:4 モルタル (N)



写真-4 曲げ強度・曲げタフネス試験状況

②繊維補強モルタル (KF+PP)

図-1 に①1:4 モルタル (N) の試験結果、図-2 に②繊維補強モルタル (KF+PP) の試験結果を示した。

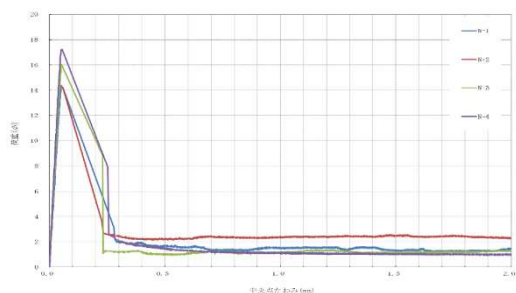


図-1 曲げ強度・曲げタフネス試験結果
①1:4 モルタル (N)

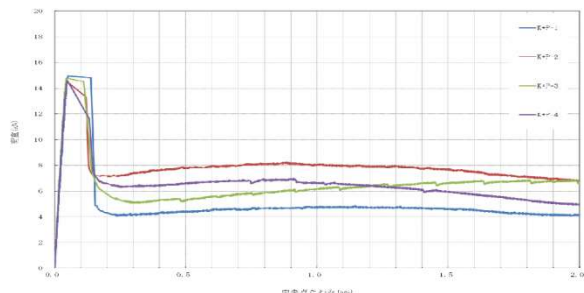


図-2 曲げ強度・曲げタフネス試験結果
②繊維補強モルタル (KF+PP)

クラック前の曲げ強度は、①1:4 モルタル (N) と②繊維補強モルタル (KF+PP) とでは大きな差はないものの、クラック後の曲げ強度は、②繊維補強モルタル (KF+PP) の方が大きくなっており、繊維の添加により曲げタフネスが大幅に向上している。

【繊維モルタル吹付工の厚さの検討】

曲げ強度・曲げタフネス試験結果より、①1:4 モルタル (N) 100mm の吹付厚さに対し、②繊維補強モルタル (KF+PP) の吹付厚さの検討を行う。

土木学会編「鋼繊維補強コンクリート設計施工指針(案)」より、許容曲げ応力度 σ_{ba} を以下の式により求めた。

$$\sigma_{ba} \leq \sigma_{bk} / 4 \cdots \cdots (1)$$

σ_{bk} : コンクリートの曲げ強度

$$\sigma_{ba} \leq \sigma_{bt} / 2 \cdots \cdots (2)$$

σ_{bt} : コンクリートの曲げ靱性係数

* σ_{ba} は上記 (1) (2) の値の大きい方を使用した。

さらに、①1:4 モルタル (N) の許容最大モーメントを算出した。②繊維補強モルタル (KF+PP) の吹付厚さの検討は、①1:4 モルタル (N) の最大モーメント (M) を一定とし、同一Mを得るための供試体の厚さを $\sigma = M/Z$ より算出した。

ただし、モルタルの曲げ強度はラス金網、繊維の効果が発揮されているクラック後の最大値より算出した。

【計算結果】

◆①1:4 モルタル(N)の許容曲げモーメント M

$$\sigma_{bk}/4=0.85/4=0.21$$

$$b_{ut}/2=0.84/2=0.42 \rightarrow \sigma_{ba}=0.42$$

$$\sigma_{ba}=M/Z \text{ (N} \cdot \text{mm)}$$

$$\sigma_{ba}=0.42 \text{ (N/mm}^2\text{)}, \text{断面係数 } Z=bh^2/6, b=100\text{mm}, h=100\text{mm より}$$

$$\therefore M=\sigma_{ba}bh^2$$

$$=0.42 \times 100 \times 100^2/6 = 70,000 \text{ (N} \cdot \text{mm)}$$

◆②繊維補強モルタル (KF+PP) の吹付厚さ h

$$\sigma_{bk}/4=2.01/4=0.50$$

$$\sigma_{bt}/2=1.91/2=0.96$$

$$\sigma_{bk}/4=0.50 < \sigma_{bt}/2=0.96 \text{ なので、} \sigma_{ba}=0.96$$

$$\sigma_{ba}=0.96 \text{ (N/mm}^2\text{)}, \text{断面係数 } Z=100h^2/6, b=100\text{mm},$$

$$M=\sigma_{ba}bh^2=70,000 \text{ (N} \cdot \text{mm) より}$$

$$\therefore h = \sqrt{70,000 \div (0.96 \times 100/6)}$$

$$= 66.14\text{mm}$$

この結果より、①1:4 モルタル (N) 100mm の吹付厚さに対し、②繊維補強モルタル (KF+PP) の吹付厚さは 66.14mm となり、70mm (7cm) で対応可能である。

表-1 吹付厚さ算出結果

供試体名	曲げ強度 σ_{bk} (N/mm ²)	曲げ 靱性係数 σ_{bt} (N/mm ²)	曲げ強度/4 $\sigma_{bk}/4$ (N/mm ²)	曲げ靱性/2 $\sigma_{bt}/2$ (N/mm ²)	許容曲げ 応力度 σ_{ba} (N/mm ²)	許容曲げ モーメント M (N・mm ²)	厚さ (mm)
①1:4 モルタル (N)	0.85	0.84	0.21	0.42	0.42	70,000	100.00
②繊維補強 モルタル (KF+PP)	2.01	1.91	0.50	0.96	0.96		66.14

◇法面工低減係数の設定（フレームワッシャーR タイプ）

◇法面工低減係数の設定

フレームワッシャーR と繊維補強モルタル吹付工 ($t=7\text{cm}$) を組み合わせ法面工の法面工低減係数を得るための試験を行った。

試験は「グラウンドアンカー受圧板 設計・試験マニュアル，平成 16 年 12 月，財団法人土木研究センター」を参考にした。補強鉄筋とフレームワッシャーR を設置したモルタル板（縦 $1.0\text{m} \times$ 横 $1.0\text{m} \times$ 厚さ 0.07m ）3 組を作成し，センターホールジャッキを用いて補強鉄筋を引っ張り载荷した。载荷荷重及び頭部変位量，モルタル板の表面変位量を測定した。クラック 0.2mm 以下の荷重を最大荷重，破壊した荷重を破壊荷重とし，板のクラックの状況を確認した。

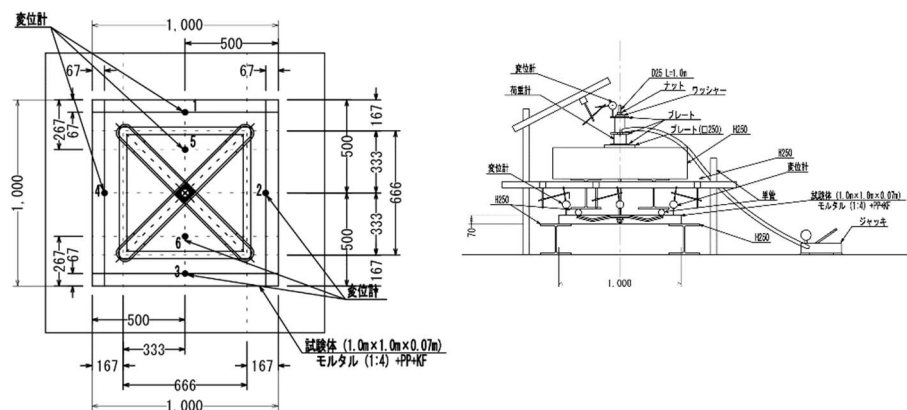


図 6 試験状況図

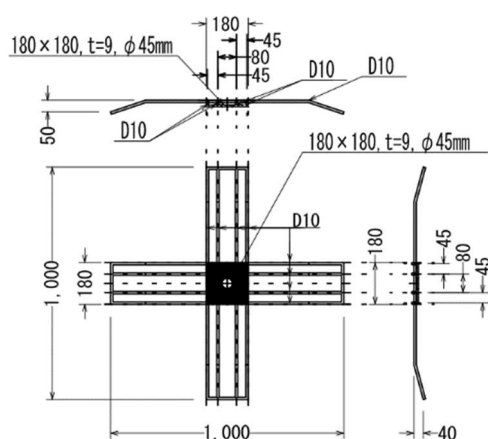


図 7 フレームワッシャーR 図



写真 8 試験状況

【試験結果】 最大荷重（平均）38.80kN，破壊荷重（平均）68.49kN

表 3 試験結果

クラック 0.20mm 以下の最大荷重 (kN)			最終荷重 (kN)	
名称	数値	平均	数値	平均
改良 FW31-1	40.52	38.80	63.75	68.49
改良 FW31-2	41.07		79.81	
改良 FW31-3	34.82		61.91	

【設計荷重】 22.75kN

$$38.80 \div 1.5 = 25.86 \text{ (kN) (一時荷重)}$$

$$25.86 \times 0.88 \text{ (補正)} = 22.75 \text{ (kN) (設計基準強度 } 18\text{N/mm}^2\text{)}$$

【法面工低減係数 μ 】 $\mu = 0.6$

$$\text{D19 } 22.75 \div 36.022 \text{ (kN)} = 0.63$$

$$(\text{D19 設計引張り力 } 51.460 \text{ (kN)} \times 0.7 = 36.022 \text{ (kN)})$$

以上

引用・参考文献

- ・ のり枠工の設計・施工指針(改訂版)，平成 18 年 11 月，(社)全国特定法面保護協会編
- ・ 吹付けコンクリート指針(案)[のり面編]，平成 17 年 7 月，土木学会
- ・ 鋼繊維補強コンクリート設計施工マニュアル（法面保護工編），社団法人日本鉄鋼連盟 SFRC 構造設計施工研究会編
- ・ 鋼繊維補強コンクリート設計施工指針（案），昭和 58 年 3 月，土木学会
- ・ ロックボルト工積算資料（参考），平成 27 年度，一般社団法人全国特定法面保護協会
- ・ ロックボルト工積算例（参考），平成 27 年度，一般社団法人全国特定法面保護協会
- ・ 切土補強土工法設計・施工要領，平成 19 年 1 月，東日本高速道路株式会社・中日本高速道路株式会社・西日本高速道路株式会社編
- ・ 地山補強土工法設計・施工マニュアル，平成 23 年 8 月，公益社団法人地盤工学会編
- ・ グラウンドアンカー受圧板 設計・試験マニュアル，平成 16 年 12 月，財団法人土木研究センター
- ・ 老朽化吹付けのり面の補強工 設計。施工要領—吹付受圧板工法 FC パネル—，平成 28 年 3 月，公益財団法人鉄道総合技術研究所
- ・ 法面保護工の維持・補修に関するガイドライン（案），2020 年 10 月，斜面維持補修施工技術研究会

東興ジオテック株式会社

初 版：平成24年 4月	法面事業本部 技術開発部
第 2版：平成24年10月	法面事業本部 技術開発部
第 3版：平成25年 1月	法面事業本部 技術開発部
第 4版：平成25年 3月	法面事業本部 技術開発部
第 5版：平成25年 5月	法面事業本部 技術開発部
第 6版：平成25年 8月	法面事業本部 技術開発部
第 7版：平成26年 1月	法面事業本部 技術開発部
第 8版：平成27年 1月	技術本部 技術管理部
第 9版：平成27年 3月	技術本部 技術管理部
第10版：平成28年 8月	技術本部 技術管理部
第11版：平成29年 6月	技術本部 技術管理部
第12版：令和 3年10月	技術本部 環境技術部