

補強土（テールアルメ）壁工法 新技術・新工法の提案に関して

本提案は、現在計画されている補強土（テールアルメ）壁工法に対する新技術・新工法（テールアルメ FS）の導入に対するものであり、既存のテールアルメ工法に維持管理機能を付加した新部材の適用に関するものである。以下に、概要及び構造について示す。

■テールアルメ FS（NETIS：QS-170031-A）

【国土交通省 第3回インフラメンテナンス大賞/優秀賞受賞】

●工法概要

テールアルメ工法の維持管理（保守・点検）を目的に開発した部材であり、既存の壁面パネルに FS コネクティブを使用することで、従来、老朽化や異常時の損傷程度の把握が困難とされる補強土壁の健全度を”見える化（可視化）”することが可能となる。

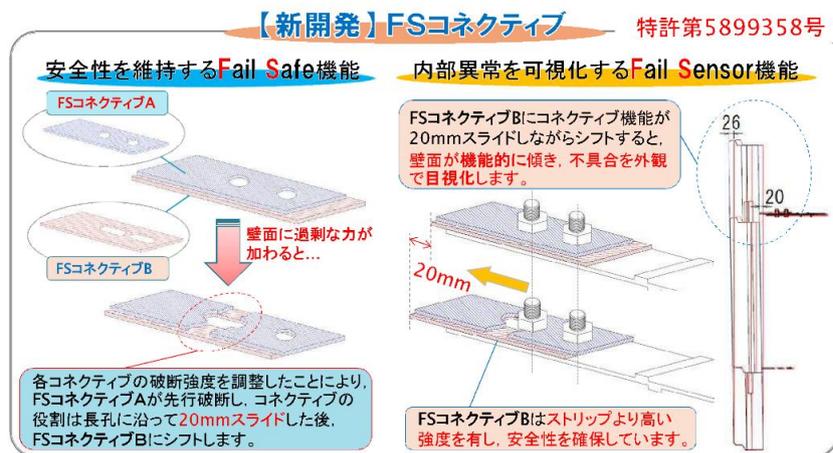
●機能・効果

- ・FailSensor 機能により、損傷の可視化ができる。（維持管理の容易性向上）
- ・擁壁自体の健全度の把握（パネルの傾斜により初期損傷が確認できる）
- ・損傷位置の確認（壁全体に配置することで損傷位置の把握が可能）
- ・擁壁損傷を早期に発見できることで、大規模な崩壊を未然に防ぐとともに、補修～補強による長寿命化も期待できる。

●構造・概要

テールアルメ FS のパネルは通常のパネルに FS コネクティブを採用したものである。

FS コネクティブは強度差のある A・B の 2 種類のコネクティブにより構成しており、近年維持管理を目的に橋台など重要構造物で採用されている “FailSafe “機能を付加したものである。（下図参照）注）フェイルセーフ（英語：fail safe）とは、なんらかの装置・システムにおいて、誤操作・誤動作による障害が発生した場合、常に安全側に制御すること。またはそのような設計手法で信頼性設計のひとつ。これは装置やシステムが『必ず故障する』ということを前提にしたものである。（「ウィキペディア」より）



FS コネクティブを採用することで、鋼材の引張強度を超えるような過剰な応力が生じた場合に、まずコネクティブ A が機能喪失する。

（強度差によりコネクティブ A が先行機能喪失するように設計されている。）

その際、通常コネクティブと同強度であるコネクティブ B が機能するため、致命的な損傷を回避することができる。

更にはこのコネクティブ B はボルト孔が長孔構造になっており、パネル自体（上部）が最大 20mm 程度スライドし傾斜を促す。別途、パネル側面には予めマーキングし、その傾斜の有無が判断しやすいようにしており、内部異常の可視化が可能となる構造である。（FailSensor 機能）

●構造・詳細 (FS コネクティブ)

では、2種類のコネクティブ構造について詳細を示す。

テールアルメ FS はコネクティブ A が先行機能喪失することを前提に設計されており、強度構造を以下としている。

▼コネクティブの強度について

コネクティブ A の部材仕様：PL6.0×51×389 (SS400)

コネクティブ B の部材仕様：PL6.0×60×409 (SS400)

各コネクティブの強度については、計算により以下となる。尚、計算は、壁際のボルト孔欠損部とし、長期間の経過を考慮し腐食が進行した場合を想定する。(Cm=1.00mm)

また、参考としてストリップについても示す。

コネクティブ A PL6.0×51×389 (SS400) : $\sigma_a=25.2\text{kN}$

コネクティブ B PL6.0×60×409 (SS400) : $\sigma_a=31.5\text{kN}$

SM ストリップ PL4.0×60×L (SM490A) : $\sigma_a=25.0\text{kN}$

SS 幅広ストリップ PL4.0×80×L (SS400) : $\sigma_a=27.3\text{kN}$ (注) ボルト孔欠損部

SS 幅広ストリップ PL4.0×80×L (SS400) : $\sigma_a=25.2\text{kN}$ (注) 応力最大 (Tmax) 部

六角ボルト (等級 A) M12 : $\tau_a=33.7\text{kN}$

(注) ストリップの応力照査は、通常、応力 (引張力) 最大位置及び壁面際のボルト孔欠損部で実施するが、設計上の応力照査位置は一般的にボルト孔欠損部となる。但し、SS 幅広材については、応力最大部が断面上のクリティカルな位置となる。※壁際応力度 $T_0=0.75T_{max}$ (マニュアルより)

対して、引張強度 (破断する強度) は以下となる。

コネクティブ A PL6.0×51×389 (SS400) : $\sigma_a=86.4\text{kN}$ (3.43 倍)

コネクティブ B PL6.0×60×409 (SS400) : $\sigma_a=108.0\text{kN}$ (3.43 倍)

SM ストリップ PL4.0×60×L (SM490A) : $\sigma_a=88.2\text{kN}$ (3.53 倍)

SS 幅広ストリップ PL4.0×80×L (SS400) : $\sigma_a=104.0\text{kN}$ (3.81 倍) (注)

まずは、着目点として、鋼材の引張強度 (下表参照) と許容値には 3.4~3.8 倍程度の安全率を加味していることであり、よって、実際に破断 (機能喪失) する応力は、設計上考慮する荷重から 3 倍以上の力であり、通常時に関しては十分な余裕があると言える。

鋼材の機械的性質 (SS400)

一般構造用圧延鋼材の機械的性質 (「JIS G 3101 (一般構造用圧延鋼材)」から抜粋)								
種類の記号	降伏点 又は耐力 N/mm ²	引張強さ N/mm ²	鋼材の厚さ mm	引張試験片	伸び %	曲げ性		
	鋼材の厚さ 16 mm 以下					曲げ角度	内側半径 厚さの 1.5 倍	試験片
SS 400	245 以上	400~510	鋼板, 鋼帯, 平鋼, 形鋼の 厚さ 5 以下	5 号	21 以上	180°	厚さの 1.5 倍	1 号

鋼材の機械的性質 (SM490A)

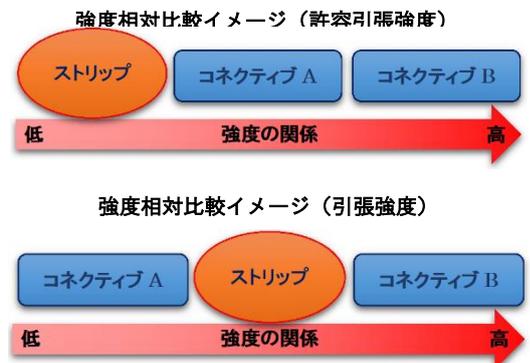
溶接構造用圧延鋼材の機械的性質 (「JIS G 3106 (溶接構造用圧延鋼材)」から抜粋)					
種類の記号	降伏点又は耐力 N/mm ²	引張強さ N/mm ²	伸び		
	鋼材の厚さ 16 mm 以下	鋼材の厚さ 100 mm 以下	鋼材の厚さ mm	試験片	%
SM 490 A	325 以上	490~610	5 以下	5 号	22 以上

上記の強度差により、右図のような強度順位を意図的に設定したものがテールアルメ FS である。

設計段階 (許容引張強度) においては、ストリップが応力のクリティカル部材となっており、所定の設計条件による補強材配置を行うことで、必要な性能が確保できる。

対して、鋼材の引張強度 (破断) 比においては、コネクティブ A がストリップよりも先行する。

この強度差順位により、安全性に影響なく、FailSafe 機能を有する構造となっている。



▼コネクティブA 破断後の機能確保について

コネクティブA 破断後、ストリップの固定機能はコネクティブBに移行する。但し、破断状況によっては、固定ボルトが“浮き”や“緩み”状態となる可能性がある。ここでは、コネクティブAの先行破断の確認に加え、破断後の状態における安全性について示す。

ここでは、状態を4ケースに区分し、引張試験を実施しており、各状態における機能確認及び安全性を照査している。実験ケースは以下5ケース。

- CASE. 1 コネクティブAの先行破断の確認
- CASE. 2 コネクティブA破断後の強度確認（破断位置を母体部とした場合）
- CASE. 3 コネクティブA破断後の強度確認（破断位置をボルト孔部とした場合）
- CASE. 4 コネクティブA破断後の強度確認（Aの回転によりボルトが緩んだ状態）
- CASE. 5 コネクティブBの長孔部の強度確認

上記は想定される状態における照査ケースであるが、いずれのケースにおいても所定値以上の数値となっており、機能性及び安全性の確認ができています。

尚、実験は空間部でのものであるが、実際には土中内であるため、周辺（盛土）からの拘束に伴い、更に安全側の挙動を示すと考えられる。

●維持管理（補修について）

テールアルメFSは、その配置により、損傷個所の特定も可能である。

それにより、詳細点検の場所特定が容易となるため、限定的な補修～補強が可能となり、擁壁全体の長寿命化が期待できる。

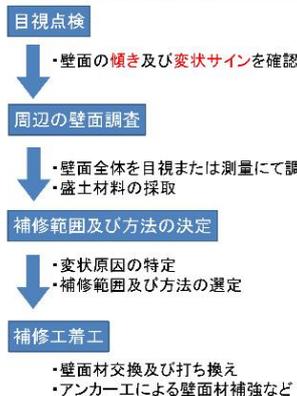
但し、コネクティブAの破断は、想定から3倍程度の応力が生じた証であり、その場合、擁壁の健全性については、詳細に点検する必要がある。

それ故、安全性優先における周辺道路、当該道路の交通制限の適否判断の指標にもなる。

そこで、FailSensor 機能確認後の流れを以下に示す。

- ① 目視点検：日常・定期点検、地震などの外的要因による緊急点検など
- ② 壁面のサイン確認
- ③ 周辺調査：基礎状態、パネルの破損状況、変位状況
- ④ 詳細点検：盛土材の採取、水平ボーリングによる内部調査、ストリップの引抜試験など
- ⑤ 補修箇所、補修方法の特定
- ⑥ 補修、補強工事

【補修の流れ、補修方法】 ◆部分的な補修・交換が可能です◆



具体的な補修、補強方法については、「補強土（テールアルメ）壁工法設計・施工マニュアル（第4回改訂版）平成26年8月」の『7.5 補修及び補強対策』（P.263～）に詳細が記載されているが、補強材の健全性及び補強効果が確認された場合は、壁面のみの交換で補修は可能となる。

パネルの交換技術については、補強土（テールアルメ）壁工法は単壁構造であるため、補強材を残置したまま、且つ局所的なパネル交換が可能である。（上図・写真参照）

■KD パネル (NETIS : KT-200017-A)

●工法概要

「KD パネル」 ((Knowledge Durability) (一般名称：モニタリングパネル) は、テールアルメ内部の健全性確認を容易に行うことを目的とする。

補強土(テールアルメ)壁工法の主部材は補強材(ストリップ)であり、その状態が構造の健全性(耐久性)を把握する指標となる。但し、ストリップは土中内に敷設するため、一般的に状態把握は困難である。これまでは、必要に応じて壁面材にコア抜きし、補強材を露出の上、引抜試験などを実施していたが、準備に手間を要することに加え、構造部材であるため、機能復旧させるためには、再度撤去・復旧を余儀なくされるなど、実施には慎重な判断を要していた。

KD パネルは専用パネル+試験用ストリップの組み合わせであり、準備～復旧まで従来の手間を大幅に改善するため、より健全性、耐久性の確認が容易となる。

●機能・効果

- ・補強材の状態確認が容易且つ、構造に影響なく実施できる。
- ・摩擦力確認用、耐久性確認用の2種類あり、用途に応じた調査が可能である。

●構造・詳細

KD パネルは中央部にあらかじめ箱型の空間を確保し、更に中央部に補強材(構造用とは別の確認用部材)を配置する構造である。

確認用補強材は、摩擦力確認用、耐久性確認用の2種類あり、以下の用途として配置する。

- ・摩擦力確認用(構造安定性の確認)
主に完成直後や異常時の健全性確認に実施。
- ・耐久性確認用(耐久性確認)
経年後(10～30年の頻度)の補強材腐食状況の確認に実施。

●維持管理

維持管理に対しては、以下の手順で実施する。

1 壁当たりの基本的な配置については、摩擦力確認用(2か所)、耐久性確認用(2か所)の計4か所となる。

▼摩擦力確認用

【計測時期】完成直後、長期間経過後、異常時(豪雨、地震後)、変位確認時など

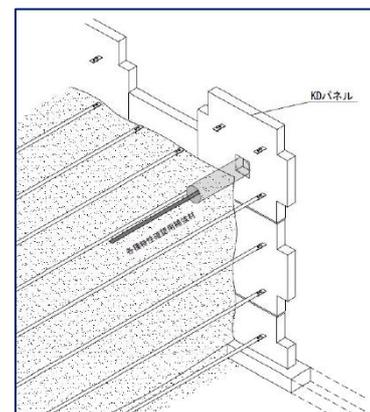
構造的には盛土の安定が収束するまでは比較的変位、変形が生じやすく、特に完成直後が最も盛土の安定性に対する懸念が生じる。よって、完成直後に摩擦力を確認することは、擁壁自体の性能を評価する上で重要である。また、異常時後や変位が確認された場合、試験による摩擦力の確認により、健全性評価のひとつとして指標とできる。

▼【計測時期】長期間経過後(10年～30年程度)

内部の腐食状況を確認することが目的であるため、一定期間後に行うことが望ましい。

一般的には10年後～30年後の実施、評価により、その後の腐食状況を把握することができ、将来的な耐久性を判断することができる。

耐久性確認用に関しては、補強材を引き抜くため、盛土体への影響が懸念されるが、計測時期が盛土の安定した長期間経過後であることや、耐久性確認用部材はL=1.0m程度と影響が小さいことから、安全性への非常に低いと言える。尚、補強材自体は構造的には寄与しない部材であるため、当然、そのまま(引き抜かない)ことも可能である。尚、異常時点検に併用する場合など、健全性の早期確認を要し、且つ盛土への影響が懸念される場合については、試験時の通行規制などによる安全性の確



保を併用することが望ましい。

●まとめ

テールアルメ工法は、国内導入後 45 年を経過しており、施工実績に関しても物件数 35 千件、面積 1000 万㎡以上を数える最も代表的な補強土壁工法である。阪神大震災（1995/01）以降、震度 6 以上の地震に対して、日本テールアルメ協会主導により、実績調査を実施し、各壁の健全性を『被災度応急判定表』により評価、報告しており、それらの結果から、耐震性が高い擁壁構造であるとの評価を受けている。

他方、補強土壁工法は、一般的に構造原理は異なるものの土中内の補強材効果により安定する構造物であるため、その修復性や維持管理方法に難があるとの評価もある。

これまでもマニュアルの改訂（計 4 回）や部材の改良、開発など常に安全性を第一義的に行ってきたが、近年、『道路土工構造物点検要領』（国土交通省道路局 平成 29 年 8 月）が発刊されたこともあり、維持管理の容易性も構造物選定の大きな要素となってきた。

本項でご紹介した新技術については、従来のテールアルメ工法に維持管理機能を付加させたものであり、異常の可視化や内部状況の数値解析など、擁壁の健全性の把握に大きく寄与し、且つ長寿命化に向けたひとつの指標とすることができる。

今後は、本技術をベースとし、日本テールアルメ協会において、更なる維持管理面の充実を図り、テールアルメ工法の維持管理（点検・保守）方法の確立化、及び補修・補強技術の開発～改良を実施していき、より安全性の高い、長寿命な構造物の提供を目指していく必要がある。