

凍上によるテールアルメ補強土壁の被災事例

Damage to the Terre-Arrme reinforced soil wall due to frost heaving

国研) 土木研究所 寒地土木研究所
 北見工業大学 工学部
 北見工業大学 工学部
 国研) 土木研究所 寒地土木研究所
 国研) 土木研究所 寒地土木研究所

○正 員 橋本 聖 (Hijiri Hashimoto)
 正 員 川尻 峻三 (Shunzo Kawajiri)
 正 員 川口 貴之 (Takayuki Kawaguchi)
 林 憲裕 (Toshihiro Hayashi)
 正 員 林 宏親 (Hirochika Hayashi)

1. はじめに

テールアルメ¹⁾は1963年にフランスで開発された工法で日本には1972年に旧日本道路公団で採用されて以降、数ある補強土壁の中では日本国内で最も多く採用され、現在においても着実に増加傾向にある。

テールアルメに関する道路盛土への研究は旧建設省土木研究所などで合理的な設計、施工の指針を得るため、模型や実物大規模の実験が数多く実施されてきた。これらの成果は「道路土工擁壁工指針」²⁾に反映され、テールアルメを含む主要な補強土壁はコンクリート擁壁と並ぶ主要な擁壁技術の一つとして、様々なインフラ整備に導入された。

一方、中央道笹子トンネルの天井板落下事故以降、国土交通省ではすべての構造物に対して、点検、診断、措置、記録のいわゆる、メンテナンスサイクルの確立を徹底するよう通達³⁾が出された。これを受けて、既設テールアルメに対しても効率的なメンテナンス体系の確立が求められることになり、上記の点検や診断に対するアプローチとして研究(例えば^{4), 5)}が行われている。

本報告は、凍上で被災したと思われるテールアルメ3現場を対象に、現地条件や各部材の破損状況、気象条件、盛土材などのデータ等から、壁面材(以降、壁パネル)や補強材(以降、ストリップ)が破損した要因について考察したものである。

2. テールアルメ補強土壁の被害状況

2.1 テールアルメ現況

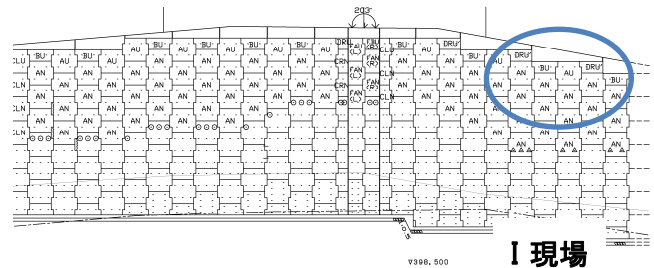
図-1に各現場の調査箇所を示す。調査箇所は東北地方、甲信越地方、東海地方である。各現場の規模、施工(変状)年度、各設計の諸元を表-1、壁パネルの破損箇所を図-2に記載している。設計定数は補強土(テールアルメ)壁工法設計・施工マニュアル¹⁾(以降、マニュアル)に従って決定されており、ストリップの引抜け、ストリップ破



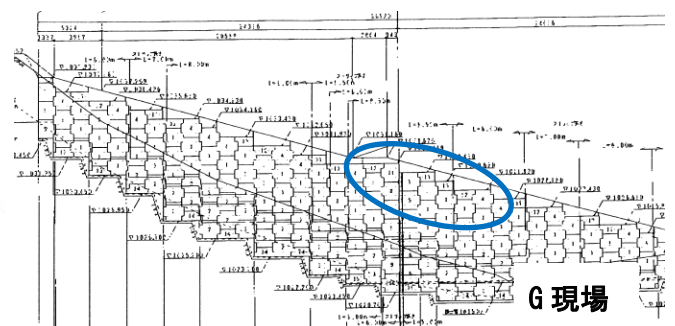
図-1 調査現場位置

表-1 テールアルメの設計諸元

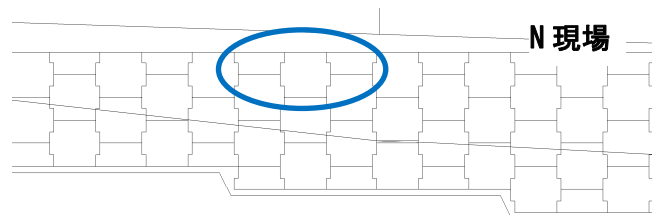
調査箇所	I	G	N
規模			
壁面積 (m ²)	4107.9	407.9	818.7
延長 (m)	802.2	56.7	203.8
壁高 (m)	12.7	10.5	9.7
	6.7	3.0	3.0
施工			
施工(年)	2004	1998	1999
変状発見(年)	2008	2004	2013
盛土材			
せん断抵抗角 ϕ (°)	30	30	30
単位体積重量 γ (kN/m ³)	19	19	19
摩擦係数 f	0.726~1.5	0.726~1.5	0.726~1.5
補強材			
リブ付ストリップ (mm)	t4.0×b60	t4.0×b60	t4.0×b60
亜鉛メッキ (m ²)	350	350	350
腐食シロ (mm)	1	1	1
引張応力度 (N/mm ²)	185	140	140



I 現場



G 現場



N 現場

図-2 テールアルメの正面展開図



図-3 テールアルメの壁パネル脱落、はらみ出し、ストリップ損傷状況

断やボルトのせん断強度、テールアルメを含む盛土全体のすべり破壊に対して所定の安全率は満足している。

図-3 に各現場における壁パネルの脱落による盛土材の流失、壁パネルのはらみ出し、ストリップの破断状況を示す。図-3 a), b) は I 現場、同じく c), d) は G 現場、同じく e), f) は N 現場の変状後の状況である。テールアルメの変状は完成してから 4～14 年経過してから発生した。以下、各現場の変状について考察する。

I 現場はテールアルメ中段から上段にかけて、幅 4 枚の壁パネルが完全に脱落して盛土材が流出した（図-3 a)）。図-3 b) はテールアルメの壁パネル背面側から撮影したものであるが、壁パネルとストリップは辛うじて接続されており、本来は壁パネルに対して水平に設置されているストリップが下方に湾曲しているように見える。

G 現場はテールアルメ上段から下段まで一部の壁パネルを残して脱落しており、ストリップが剥き出しになっていた（図-3 c)）。図-3 d) はストリップを接写したものである。ストリップと壁パネルを繋ぐコネクティブストリップが破断している一方で、コネクティブストリップではなく、本来、壁パネル内に存在しているストリップが露出しているのが確認できた。

N 現場は他の 2 現場と異なり壁パネルの脱落は見られず、壁パネル上段の前傾および、壁パネル中段がはらみ出していた（図-3 e)）。図-3 f) は壁パネルが前傾している位置の背面盛土を掘削してストリップを 4 本露出させた状況であるが、いずれも壁パネルのコネクティブ（一部、コネクティブストリップ）が破断して、壁パネルとストリップが離れた状態になっていた。

2.2 気象条件

図-4 は各現場の補強土壁が完成した年から変状が生じた年までの凍結指数を、各現場近傍の地域気象観測システム (AMeDAS) より整理したものである。

I 現場における凍結指数 F の範囲は $F=0\sim 200^{\circ}\text{C}\cdot\text{days}$ であり、2006 年と変状が生じた 2008 年の凍結指数は $F=0^{\circ}\text{C}\cdot\text{days}$ であった。しかしながら、現場の標高 (テールアルメ基礎部) は AMeDAS の観測地点の標高と比較して約 300m 高いことから現場では 1.5°C 低く、凍結期間も長かったことが想定される。

G 現場の凍結指数 F の範囲は $F=400\sim 500^{\circ}\text{C}\cdot\text{days}$ であり、冬期には壁パネル背後の盛土材が数十 cm 程度の深さまで凍結していたことが想像できる。

N 現場は完成から変状が把握されるまで 14 年間と他の現場よりも長い。この間、2012 年は $F=0^{\circ}\text{C}\cdot\text{days}$ であったが、それ以外の年は $F=100\sim 300^{\circ}\text{C}\cdot\text{days}$ が計測されていることを踏まえると、基本的に冬期には背後の盛土材が凍結する環境であったと考えられる。

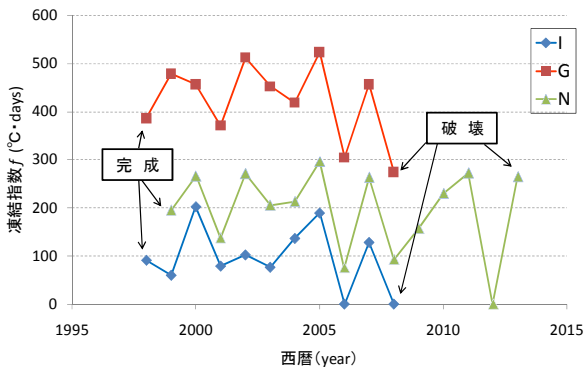


図-4 各現場の凍結指数の経年変化

2.3 盛土材の土質特性

表-2 に各現場の盛土材の物性を示す。各現場の土質分類をみると、I 現場と N 現場は細粒分含有率 F_c が $F_c=23.8\%$ 、 5.4% 、G 現場は $F_c=28.3\%$ であった。マニュアルでは、テールアルメに適した盛土材は F_c が岩石材料の寸法などで区分されている。これによると、I 現場と N 現場は F_c が 25%以下で[A1]材料、G 現場は F_c が 25%を超えかつ 35%以下の[B]材料に区分され、いずれの現場も適正と判断される盛土材が使用されていた。

事象が生じた後、G、N 現場では凍上試験が実施されており、G 現場は道路公団法で凍上率 14.2%、凍結様式は微細霜降状凍結であった。道路公団法では微細霜降状凍結が確認された場合、凍上率に関係なく不合格材料と判断される。N 現場では JGS 凍上試験の結果、凍上性判定は中位と判断された。I 現場は凍上試験を行っていないため、粒度による凍上性判定⁶⁾を実施し、G、N 現場も併記した (図-5)。領域 1 は凍上性が高いと区分されるが、I 現場は約 20%がこの範囲内にあった。凍上性材料と判断された G 現場の領域 1 が約 30%であることを踏まえると、I 現場の盛土材も少なからず凍上性を有していると考えられる。

以上より、各現場の盛土材はマニュアルでは適正と判断されるものが使用されていたが、いずれも凍上性材料であることが確認された。

表-2 盛土材料の物性

調査箇所	I	G	N
材料の工学的分類	粘性土質砂質礫 (GCSG)	細粒分質礫質砂 (SFG)	細粒分混じり砂質礫 (GS-F)
土粒子密度 ρ_s (g/cm ³)	2.674	—	2.642
自然含水比 w_n (%)	25.6	14.7	8.6
粒度特性	礫分 (%)	54.1	60.6
	砂分 (%)	22.1	34.0
	シルト分 (%)	14.9	2.9
	粘土分 (%)	8.9	2.5
コンシステンシー	最大粒径 (mm)	75	75
	液性限界 w_L (%)	—	30.0
	塑性限界 w_P (%)	—	21.8
	塑性指数 I_P (%)	—	8.2
締固め試験	試験法	B-c	B-a
	最大乾燥密度 ρ_{dmax} (%)	—	1.838
	最適含水比 w_{opt} (%)	—	13.6
	試験方法	道路公団法	JGS
凍上試験	凍上率 (%)	14.2	—
	凍結様式	微細霜降状凍結	—
	凍上速度 U_h (mm/h)	—	0.17
	凍上性判定の目安	—	中位

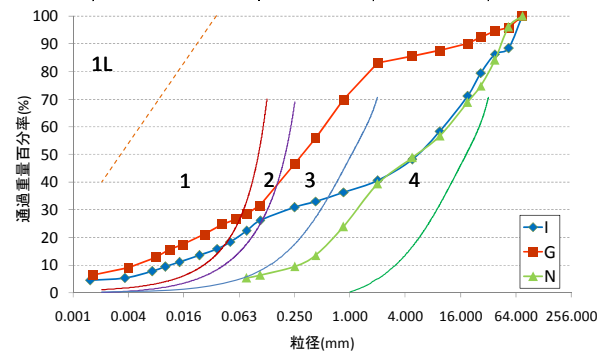


図-5 各現場の土の粒度と凍上性区分

3. パネルおよびストリップ破損原因の考察

テールアルメの凍上問題が初めて顕在化したのは、長野県岡谷市の市道である。このテールアルメは 1994 年 1 月に構築されたもので、完成から 6 年経過した 2000 年に壁パネルが変状した (図-6 a)。当該箇所における壁パネル脱落、ストリップ破断の要因は当初、土圧や間隙水圧の上昇と考えられたが、盛土材は土質安定処理が施され、盛土が自立し排水系統も施工されていたため不自然とされた (図-6 b)。東海林ら^{7) 8) 9)}はこの現場で 2 回の現地調査と土質試験を実施し、壁パネルやストリップの破損は「凍上」に起因するとした。

「凍上」は凍結面に移動した水分の氷晶分離とアイスレンズの形成によってもたらされ、3 つの要素 (①温度、②水分、③土質) がすべて揃うことで発生する¹⁰⁾。

ここで、岡谷市の既設テールアルメを上記の 3 要素から考察する。

要素①: 補強土壁完成から変状が生じる 6 年間、当該箇所から 200m 低い AMeDAS の観測地点で計測された凍結指数 F は毎年、 $F=50\sim 150^{\circ}\text{C}\cdot\text{day}$ であったため、当該箇所は凍上が生じる気温条件であった。

要素②: 壁パネル背面の盛土法面が被覆されていなかったため、降雨や積雪後の雪解け水が盛土へ浸透しやすい環境であった。

要素③: 使用された盛土材は $F_c=76.8$ 、 64.0 、 58.4% の細粒土で、図-5 に従うと盛土材は領域 1 に相当する部分が多く、壁パネル背面に凍上抑制層は存在しない。ただし、当該箇所ではセメント系固化材で土質安定処理されたものが使用された。

これらの 3 つの要因が重なり、壁パネル背面に繰返し凍上力が作用したことによって、壁パネルの脱落、ストリップの破断が生じたと結論づけられた。



図-6 岡谷市の被災状況

岡谷市の破損状況（図-6 a）, b））と今回の 3 現場の壁パネルやストリップの破損状態（図-3）を比較すると、いずれもパネル背面に凍上抑制層が存在しておらず、壁パネル上段の変状が激しい点も共通している。壁パネル脱落の有無に違いがあるが、壁パネル近傍の盛土材流出やストリップ破断など非常に類似している。特にストリップ破断にはコネクティブストリップが破断するパターンと、コネクティブストリップが残った状態で壁パネル側のストリップが破断するパターンが存在する。これについては、壁パネル背後の盛土材料の違いが作用する凍上圧に違いを生じたのかもしれない。次に各要素について考察する。

要素①：いずれの現場もテールアルメ構築後から変状が生じるまでの数年間、凍結指数が観測されない年もあるが、変状が生じるまでの大半は凍結指数が観測されていることから、ほぼ毎年ように、壁パネルに凍上力が作用するような外気温に晒されていた。

要素②：今回得たデータからは地形などを判読できる情報は存在しないが、壁パネルへの雨ダレの痕跡（図-3 a）, e））などから、嵩コンクリート背面部に降雨や雪解け水の浸入を防ぐ対策が施されてなく、補強領域へ水が容易に流入できる状態だった。

要素③：各現場で使用されていた盛土材はマニュアルでは適正な材料と判断されるにも拘わらず、凍上試験や

粒度試験による凍上判定法より、少なからず凍上が生じるものであった。

以上より、本調査の現場における壁パネル脱落とストリップ破断は、次の①～④に示す条件を満足したことによって生じると推察される。

- ① 壁パネル背面に凍上抑制層が存在しない。
- ② 盛土材はマニュアルに準拠した適正材料ではあるが凍上性を有している。
- ③ 何らかの要因（降雨等）で壁パネル背面へ水分が供給される。
- ④ 壁パネル背面に氷点下の冷気が作用して、凍上圧が壁パネル方向に繰返し作用する。

凍上圧がコネクティブストリップやコネクティブの引張強度（破断強度）と同等程度であればパネルのはらみ出し、同等以上になればパネル脱落およびストリップ破断に至ると考えられるが、ストリップの破断や引拔けに至る詳細なメカニズムについては不明な点も多く、さらに検討する必要があると考えている。

4. まとめ

本報告は、既設テールアルメ 3 現場を対象に各部材の破損状況、気象条件、盛土材などの観測および計測データに基づいて、壁パネルやストリップが破損した要因について上記のとおり考察した。

最近では積雪寒冷地にテールアルメを構築する際、壁パネル背面に凍上抑制層を設けることになっているが、旧マニュアルで構築された凍上抑制層の無い既設テールアルメも多数存在していると思われる。冒頭述べたとおり、今後、テールアルメもメンテナンスサイクルの確立が求められており、今回の調査結果は凍上被害が想定される現場条件を判断する目安になればと思う。

謝辞

各現場のデータはヒロセ㈱から情報提供を頂いた。ここに記して深く謝意を表します。

参考文献

- 1) 一財) 土木研究センター：補強土（テールアルメ）壁工法設計・施工マニュアル第 4 版、2014. 2) 一財) 日本道路協会：道路土工指針－擁壁工指針、2012. 3) 社会資本整備審議会 道路分科会 道路メンテナンス小委員会：道路のメンテナンスサイクルの構築に向けて、2013. 4) 藤田智弘、青池邦夫、久保哲也、宮武裕昭、宮田喜壽：補強土壁の維持管理手法構築に向けた実大補強土壁の変状計測、第 49 回地盤工学研究発表会 pp.567-568、2014. 5) 久保哲也、辻慎一郎、伊藤修二、横田善弘：ジオグリッド補強土壁の維持管理に向けた検討、第 51 回地盤工学研究発表会 pp.1573-1574、2016. 6) 社) 土質工学会：土の凍結－その理論と実際－、土質基礎工学ライブラリー No.23、pp.116-117、1994. 7) 東海林更二郎、青山清道、福田誠：テールアルメ工法の凍上被害現地調査報告、日本雪工学会誌、2001. 8) 東海林更二郎、青山清道、福田誠：テールアルメ工法の凍上被害調査報告、日本雪工学会誌、2002. 9) 東海林更二郎、青山清道、福田誠：テールアルメ工法の凍上被害調査報告（その 3）、日本雪工学会誌、2003. 10) 社) 地盤工学会 北海道支部：寒冷地地盤工学－凍上被害とその対策、pp.4-5、2009.