

2.3.11. 維持管理方法の整理

(1) はじめに

道路橋示方書では、橋台背面アプローチ部から橋台への作用及び経年的な変化への対処方法が明らかであるとともに、これらを満足するために設計及び施工だけでなく、維持管理の方法が明らかであることが求められるとの趣旨が記載されている。さらにその解説では、「維持管理方法には、日常的な通行機能の確保のための巡視や点検、修繕だけでなく、地震動を受けた後の点検方法や通行機能を確保するための応急措置の方法等も含まれる。」とされている。

本項では、補強土壁の維持管理方法について、既往の知見や本報告の前項までにおいて得られた知見を整理する。

補強土壁を含む道路土工構造物の点検に関する要領としては、道路法施行令第35条の2第1項第二号の規定に基づいて行う点検について、基本的な事項が示された道路土工構造物点検要領(2017年)^{2.3.11-1)}がある。この要領は、道路土工構造物全般に関するものである。補強土壁の維持管理方法については、例えば道路土工—擁壁工指針^{2.3.11-2)}において補強土壁を含む擁壁の維持管理に関する基本的事項が示されており、また補強土壁の補修・補強対策が例示されている。また、各補強土壁工法のマニュアル^{2.3.11-3~5)}においては、個別の工法の構造や経験に応じて示されている。

2016年には、土木研究所、防衛大学校、(一財)土木研究センター、(株)高速道路総合技術研究所及び民間11社の共同で、「補強土壁の維持管理手法の開発に関する共同研究^{2.3.11-6)}」が実施された。この共同研究では、盛土材のこぼれ出しに至る致命的な損傷に主眼をおき、当時の知見に基づいて補強土壁の維持管理における点検、調査、措置等に関する基本的な考え方や、詳細調査の記録台帳、詳細調査の例、措置事例等が体系的に取りまとめられている。

以下に、「補強土壁の維持管理手法の開発に関する共同研究報告書^{2.3.11-6)}」について、1) 基本的な考え方、2) 点検、3) 調査及び4) 措置の内容を要約して紹介する。さらに、補強土壁のメカニズムにおける構成要素の状態や前提条件に関して、前項までの知見や最新の研究事例の中から点検等において活用可能と考えられる着眼点を整理した。

(2) 「補強土壁の維持管理手法の開発に関する共同研究報告書^{2.3.11-6)}」の概要

ここでは、「補強土壁の維持管理手法の開発に関する共同研究報告書(2016年)^{2.3.11-6)}」について、1) 基本的な考え方、2) 点検、3) 調査及び4) 措置の内容を要約して紹介する。なお、「補強土壁の維持管理手法の開発に関する共同研究報告書(2016年)^{2.3.11-6)}」は道路土工構造物点検要領(2017年)^{2.3.11-1)}が発刊されるよりも前に発刊されている。したがって、両方で「点検」、「調査」等の用語の定義が異なっている部分があるが、ここでは原文の用語をそのまま使用していることに留意されたい。

1) 基本的な考え方

この報告書では、補強土壁は、「盛土材のこぼれ出しが生じなければ他の土工構造物と同様、緩やかに変形が進行すると考えられる。よって、補強土壁は盛土材のこぼれ出しにいたる損傷（致命的な損傷）を見つけて早期に対応することを基本とした維持管理を実施することが合理的である。」とし、致命的な損傷を、複数の劣化シナリオの相互の関係を樹系図で示したフォルトツリーが作成されている（図-2.3.11.1）。このフォルトツリーより、損傷（1）補強材・連結部の破断（→壁面材の脱落）、損傷（2）壁面材の開口・貫通、損傷（3）壁面材間の目地の開き、損傷（4）基礎の洗掘、損傷（5）連続/隣接構造物との目地の開きの5つを補強土壁の致命的な損傷と考えればよいとしている。なお、今回新たに実施した検証の結果を踏まえてもフォルトツリーに大きな変更はないと考えられる。

補強土壁の維持管理では、盛土等の一般的な土工構造物で実施する対応に加えて、点検、調査、措置を次の方針で実施すればよいと考えている。すなわち、点検では、早期に補強土壁及び周辺に生じた異常を見つける。調査では、現地調査により致命的な損傷の有無を確認し、資料調査や詳細調査により損傷範囲や要因の把握等を行う。措置では、要因に応じた適切な対応を行う。次章以降に、具体的な補強土壁の点検、調査、措置方法を紹介する。

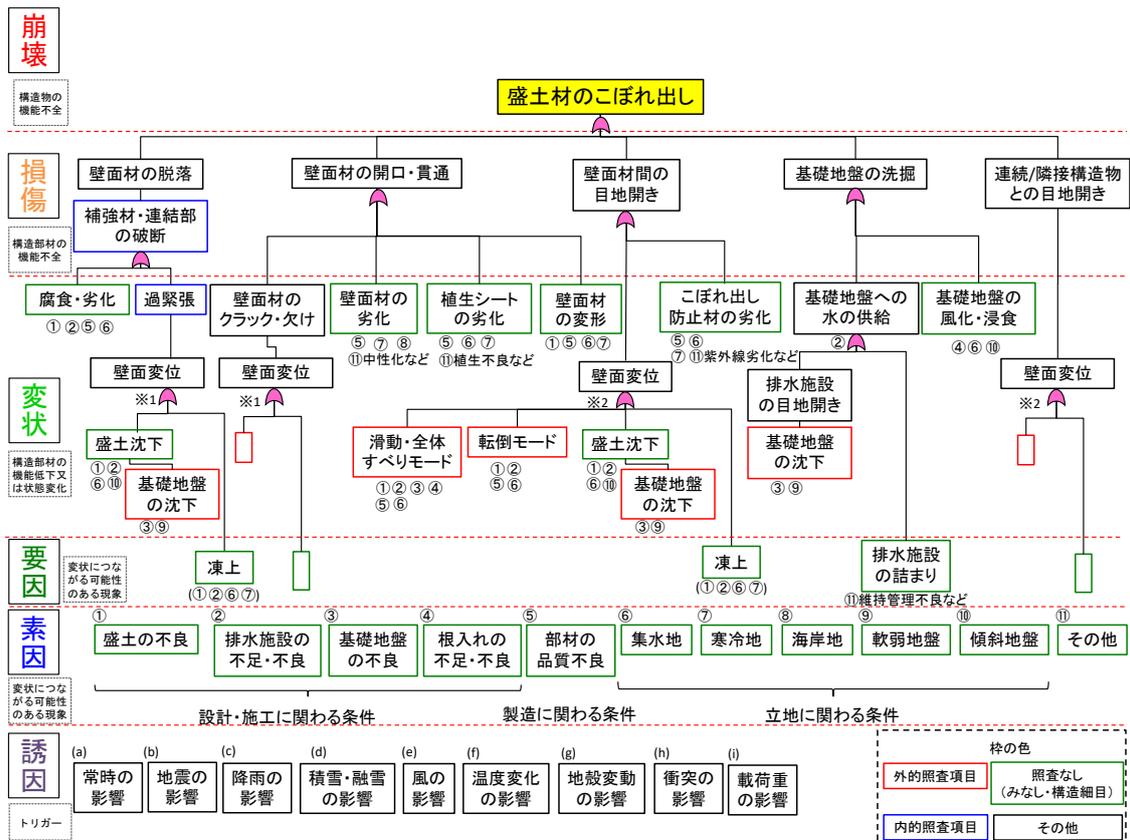


図-2.3.11.1 補強土壁のフォルトツリー-2.3.11-6)

4) 措置

損傷した補強土壁の措置は、①損傷の要因を取り除く対応（要因除去）、②損傷の発生を防ぐために抵抗力を回復又は向上させる対応（補強）、③損傷した箇所からの劣化の進行をくいとめる対応（補修）に大別される^{2.3.11-6)}。措置の章では、(1) 補強材・連結部の破断（→壁面材の脱落）、損傷 (2) 壁面材の開口・貫通、損傷 (3) 壁面材間の目地の開き、損傷 (4) 基礎の洗掘、及び、損傷 (5) 連続/隣接構造物との目地の開きのそれぞれについて調査で特定した劣化シナリオに基づいた措置方法の例と、主な留意点が示されている。

また参考資料には、過去に実施された数多くの措置の事例（表-2.3.11.2、表-2.3.11.3）が、選定のポイントや写真とともに整理されている。さらに、参考資料には、補強形式の異なる3種類の補強土壁に対する載荷・浸透実験の結果が示されており、その中で排水施設の機能不全により過剰に帯水した補強土壁に対し、水平ボーリング（措置）を実施した際の効果を検証した結果についても示されている。各種検証の詳細については参考文献^{2.3.11-6)}を参照されたい。

また、本報告書の巻末に、鋼製壁面材がその機能を維持できなくなった場合（例：著しい腐食によって断面欠損が生じるケース等）において、壁面材の交換を実施した一例を示す。

表- 2.3.11.2 措置事例一覧表 2.3.11-6)

整理 No.	部位	壁面種別	措置方法名	措置対象となる変状
①	壁面材	Co	クラック補修	ひび割れ
②		Co	断面修復	断面欠損
③		鋼製枠	断面修復・パッチング	壁面材の座屈, 変位, 劣化, 壁面欠損 壁面変位による連続/隣接構造物との開き
④		Co	中性化対策	壁面材損傷, 壁面材のクラック・劣化変色
⑤		Co	ASR 抑制対策, 塩害対策	Co の劣化, 鉄筋腐食による剥離損傷
⑥		Co	壁面被覆工 (凍上対策)	連結部の耐力低下, 補強材破断, 壁面材損傷
⑦		鋼製枠	モルタル・Co 吹付工	緑化不良
⑧		鋼製枠	壁面材交換 (部分交換含む)	壁面変位・はらみだし, 壁面材の沈下・劣化
⑨		Co	撤去, 交換または再形成	連結部の耐力低下, 補強材破断, 壁面材損傷, 鉄筋腐食
⑩		鋼製枠	種子散布工・播種工(植生基材吹付)	緑化不良
⑩	漏出	Co	撤去, 交換または再形成	盛土材のこぼれ出し
⑪	防止材	Co	シーリング工	壁面変位によるズレ (目地開き)
⑫	補強材・連結部材	共通	アンカー工・ネイリング工	補強材の抜け出し, 壁面のはらみだし
⑬	上載盛土	共通	モルタル・Co 吹付工・法枠工	緑化不良
⑭		共通	ジオテキスタイル工・水平排水層・排水パイプ設置	のり面の湧水による盛土の浸食, 流亡
⑮	排水施設	共通	水平ボーリング・排水渠設置	環境の変化や排水施設の損傷にともなう排水能力不足
⑯		共通	排水施設工 (集水井)	排水施設損傷
⑰	上載盛土	共通	種子散布工・播種工	緑化不良
⑱		共通	植生マット工・養生マット工	緑化不良または緑化不良による盛土流亡

*Co: コンクリート

表- 2.3.11.3 措置事例の一例 (⑫アンカー工・ネイリング工)

措置事例⑫

措置方法名	アンカー工・ネイリング工	措置区分	補強	対象となる変状	補強材の抜け出し、壁面のはらみだし									
対象部位	補強材、連結部材、盛土	部材区分	補強材、連結部材、盛土	措置の目的	壁面材の脱落防止									
措置概要	<p>・設計施工時の設計載荷重が環境変化により変わったり、盛土材の劣化、強度低下が生じた場合等、不足する補強効果を充当するためアンカー工・ネイリング工を施工する。</p> <p>①鉄筋挿入工 補強材長2～5m程度、2m²に1本程度の密度で打設する。 ボーリング掘削後、補強材を挿入しグラウト材を注入する。</p> <p>②グラウンドアンカー アンカー自由長を有し、アンカー長は最小7m～、最小打設間隔は1.5m。 ボーリング掘削後、アンカー体を挿入しグラウト材を圧入する。 施工時に初期緊張を与え1本当り定着力が鉄筋挿入工に比べて大きい。</p>	<p>概念図</p>	 <p>アンカー工：壁面はらみだし対策</p>											
選定のポイント	<p>現地の土質他条件に基づく安定計算を実施して必要な補強力を求め、その程度に応じて選択する。</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 10px 0;"> <p>補強材等の損傷</p> <ul style="list-style-type: none"> → 鉄筋挿入工 <ul style="list-style-type: none"> ・不足する補強力が小さい場合。 ・アンカー長が5m程度。 → グラウンドアンカー <ul style="list-style-type: none"> ・大きな補強力が必要な場合。 ・アンカー長が長い。 </div> <p>※地盤の補強目的でネイリング工が用いられることがある。</p>	<p>写真</p>	 <p>鉄筋挿入工：補強効果の補完</p>											
使用材料・仕様	<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td>補強材、アンカー一体</td> <td>実績</td> <td>有り</td> </tr> <tr> <td>グラウト材</td> <td>専門性</td> <td>のり面施工業者</td> </tr> <tr> <td></td> <td rowspan="2">措置一覧表で関連する措置</td> <td>基礎工：アンカー工</td> </tr> <tr> <td></td> <td>基礎地盤：アンカー工</td> </tr> </table>	補強材、アンカー一体	実績	有り	グラウト材	専門性	のり面施工業者		措置一覧表で関連する措置	基礎工：アンカー工		基礎地盤：アンカー工	<p>参照する基準など</p>	<p>土木工事施工管理基準(案)平成27年3月(国土交通省)</p> <p>グラウンドアンカー設計・施工規準、同解説(公益社団法人 地盤工学会)</p> <p>地山補強土工法設計・施工マニュアル(公益社団法人 地盤工学会)</p>
補強材、アンカー一体	実績	有り												
グラウト材	専門性	のり面施工業者												
	措置一覧表で関連する措置	基礎工：アンカー工												
		基礎地盤：アンカー工												

(3) 前項までの知見や最新の研究事例の中から点検等において活用可能と考えられる知見・留意点

ここでは、補強土壁のメカニズムにおいてその構成要素の状態や前提条件に関して、前項までの知見や最新の研究事例の中から点検等において活用可能と考えられる知見や留意点を整理した。以下に、整理した知見や留意点を部材等ごとに示す。

1) 路面の段差処置に関する留意点 (2.3.1 項、2.3.7 項)

地震の際等に生じる段差については、速やかに路面の連続性を回復するために、想定される段差に対する処置の方法を予め検討しておく必要がある。その際、処置が補強土壁の挙動に影響を与えるものである場合には、当初の設計においてその影響を考慮しておく必要がある。

想定される段差量については、震度5強以上の地震の揺れが観測されたエリアにおける橋台背面アプローチ部の補強土壁 790 件を対象に段差量を調査した結果 (2.3.7 項) によれば、各種技術図書類で締固めに関する記載が充実された H24 以降においては、段差量は最大でも 20 cm 程度に収まっていたことが確認されている。20cm 程度の段差に対しては、一般に砕石等を用いて擦り付けることで路面の連続性を確保することが可能である。このとき、補強土壁の挙動への影響の観点では、路面の位置が下がる現象が一次元圧縮沈下や補強土壁の底面の位置が下がることによって生じている場合には、路面の連続性を維持するために砕石等による擦り付けを行うとその分の死荷重の増加につながるため、その影響を考慮しておく必要がある。

通常、設計においては死荷重の増加等を考慮して載荷重や盛土材の単位体積重量を大きく設定するなどの配慮を行っている。余盛等による荷重の増加がそれらの配慮を上回る場合は、補強土壁の設計において補強材の引抜けや補強材の張力の応答に影響を与えるため注意が必要である。一般に補強材の引抜けについては、死荷重の増加により作用が増加するものの抵抗も増加するため、両者の変化は相殺されるので大きな影響が生じることは少ないと考えられる。すべりについては、通常想定される壁高及び盛土の物性、余盛の有無等の条件の範囲に対しては、死荷重の増加により安全率の低下が懸念されるものの、設計で想定した単位体積重量より軽い良質な材料を盛土材に用いている場合は死荷重が増加しても設計の安全率を満足すると考えられる。

2) 壁面の変位の評価に関する留意点 (2.3.2 項)

動的遠心模型実験に基づけば、補強土壁に生じうる代表的な変状としては、補強材・補強材と壁面材の連結部の破断、及び補強領域を通るすべりが挙げられる。前者の補強材等の破断については、不可視部分であり状態の変化が急激である。このため、外観上に局所的なはらみだしとして現れる場合もあるものの、その予兆を把握しにくい破壊形態である。これに対し、後者の補強領域を通るすべりによって生じるはらみ出しについては、その進展過程に

において、外観上は壁面の状態の変化が緩やかである。その量は作用の大きさの増大に応じて増加することから、予兆を捉えやすい破壊形態である。2.3.2 (5)では、現行の設計法に基づいた補強土壁は、補強材の降伏よりもすべり始める状態が先行して発生することを示した。そのうえで、2.3.2 (6)では、維持管理時には壁面の水平変位量や傾斜角等の外形を把握し、2.3.2 (4)1)の状態と比較することで、補強土壁の状態を評価するうえでの一つの目安とすることが可能であると考えられることを示した。詳細については、2.3.2 項を参照されたい。

3) 基礎コンクリート (2.3.6 項)

2.3.6 項では、地震による水平力を受けて変形する補強土壁の補強材の状態（形状、張力等）を動的遠心模型実験結果に基づいて調べた。その結果、補強領域の天端付近で 0.2m 程度の沈下が生じた状態（沈下/壁高=2.7%）においても、補強材の形状に極端な不整は生じなかった。ただし、壁面材の基礎が支持力破壊すると、壁面材の基礎の位置が下がることで壁面材と盛土材との間に相対変位が生じ、補強材の形状の不整が進展した。実験では、壁面の水平変位が、補強領域を通るすべりが生じ始める状態の 3 倍の水平変位までは補強材接合部付近の張力に大きな変化は認められなかった。ただし、壁面材の基礎の位置が下がる状態がさらに進展すると、補強材への影響が大きくなると考えられることから、点検で天端の段差等が認められた場合には、例えば、基礎コンクリートが目視できる場合に基礎コンクリートがめり込んでいないかを確認することや、基礎コンクリートが目視できない場合に基礎前面の地盤状況及び壁面天端の不陸や沈下量を確認し、周辺（基礎の沈下が生じていないと想定される個所）の状況と比較して相対的に基礎地盤の沈下等を把握するなど、基礎の状態を確認することが重要であると考えられる。

基礎コンクリートが沈下すると、壁面材と盛土材との間に相対変位が生じ、壁面材と補強材の接合部は斜め方向に引っ張られる。壁面材と補強材の接合部の構造は、補強土壁工法によって異なる。そのため、壁面材と補強材の接合部がどの程度斜め方向に引っ張られた状態まで設計で想定する荷重を伝達することができるかも、接合部の構造に応じて異なる。したがって、沈下が生じた際には、斜め方向へ引っ張られた状態での荷重伝達の機能の検証結果等を踏まえて、接合部の状態の診断を行う必要がある。

4) 連続する構造物と補強土壁の接続部 (2.3.9 項)

2.3.9 項では橋台と補強土壁の接続部の開きに起因した盛土材の漏出抑制対策として一般的に用いられている不織布について、開きが生じた場合の不織布の基本的な挙動を実験的に検証した。その結果、盛土材の漏出が生じるときの開きと不織布の幅の関係を一次式でモデル化した。すなわち、不織布の幅から想定される盛土材の漏出が生じるときの開きと、地震の際等に生じた開きを比べることで、接続部の状態を評価するうえでの一つの目安を得ることができると考えられる。

参考文献

- 2.3.11-1) 国土交通省道路局：道路土工構造物点検要領（平成 29 年 8 月），2017
- 2.3.11-2) 公益社団法人日本道路協会：道路土工一擁壁工指針，丸善出版，2012
- 2.3.11-3) 一般財団法人土木研究センター：補強土（テールアルメ）壁工法設計・施工マニュアル第 4 回改訂版，2014
- 2.3.11-4) 一般財団法人土木研究センター：多数アンカー式補強土壁工法 設計・施工マニュアル第 4 回改訂版，2014
- 2.3.11-5) 一般財団法人土木研究センター：ジオテキスタイルを用いた補強土の設計・施工マニュアル第二回改訂版，2013
- 2.3.11-6) 国立研究開発法人土木研究所ほか：補強土壁の維持管理手法の開発に関する共同研究，共同研究報告書第 486 号，国立研究開発法人土木研究所，2016