

2.2. 橋台背面アプローチ部として用いるにあたって検討が必要な事項

本節では、道路橋示方書・同解説Ⅳ(H29)^{2.2-1)}「7.9 橋台背面アプローチ部」の記載に照らして、橋台背面アプローチ部に補強土壁を用いるにあたって明らかとすべき事項と検討方針を整理し、最後に一覧としてとりまとめる。なお、本節では、道路橋示方書・同解説(H29)Ⅳの記載との対比が容易となるように、点線枠内に道路橋示方書・同解説(H29)Ⅳの記載の一部を引用し、特に本章で着目している記載については、記載箇所の特定が容易となるように文中にカタカナの五十音を付している（例：【ア】）。

7.9 橋台背面アプローチ部

(1) 橋台背面アプローチ部は、以下の 1) から 3) を満足する構造としなければならない。

1) 設計において考慮する各状況における橋台背面アプローチ部から橋台への作用等が明らかであること。

・・・(略)・・・

(1) 橋台背面アプローチ部に用いる構造に求められる要件について規定されている。

1) 橋台は橋台背面アプローチ部と接しているため、橋台背面アプローチ部からの影響を受ける。橋に求める性能を確保するためには、設計で考慮する各状況において、橋台背面アプローチ部からどのような作用等が橋台に及ぶと考えられるのか明らかにする必要がある。

例えば、橋台背面アプローチ部が通常の土を用い適切に施工がなされた盛土構造であれば、橋台は背面土からの土圧を受けることとなる。このような橋台背面アプローチ部を有する一般的な橋台に対しては、既往の事例等から、Ⅰ編 8.7 やⅤ編 4.2 に規定される土圧や地震時土圧が作用するものとして、この編の規定に従って橋台の設計を行うことで橋としての性能が確保される。

一方、例えば橋台背面アプローチ部に固化により自立する構造を用いた場合には、自重に起因する土圧は橋台に作用しないものの、地震の際には固化した構造体そのものの振動による影響が通常の土の場合とは異なる挙動として橋台に作用すると考えられる。このため、【ア】通常の盛土構造でない構造を橋台背面アプローチ部に用いる場合には、設計で考慮する各状況、荷重の大きさや分布、構造特性、基礎地盤の条件、アプローチ部背面側の盛土の条件等を踏まえたうえで、実験等により検証して明らかにした橋台への作用等を設計で考慮する必要がある。

・・・(略)・・・

(1)1)の解説では、「【ア】通常の盛土構造でない構造を橋台背面アプローチ部に用いる場合には、設計で考慮する各状況、荷重の大きさや分布、構造特性、基礎地盤の条件、アプローチ部背面側の盛土の条件等を踏まえたうえで、実験等により検証して明らかにした橋台への作用等を設計で考慮する必要がある。」とされている。この趣旨に従い、本共同研究では、補強土壁を橋台背面アプローチ部に適用した場合の橋台への作用等を動的遠心模型実験により検証する。（本報告とは別の報告書（ここでは仮に「性能検証項目編」とする。）で報告を予定）

7.9 橋台背面アプローチ部

(1) 橋台背面アプローチ部は、以下の 1) から 3) を満足する構造としなければならない。

・・・(略)・・・

2) 経年的な変化への対処方法が明らかであること。

・・・(略)・・・

・・・(略)・・・

2) 例えば、補強土壁を構成する鋼材が腐食した場合や、土を固化した構造体で構築したアプローチ部に長年の水の浸入の影響などにより固化材と土の結合度が低下した場合などでは、橋台への作用等が変化し、結果的に橋に求める性能を確保できなくなる可能性がある。このようなことが想定される場合には、あらかじめ水の浸入を防ぐ対策や、交換可能な構造としておくなど、【イ】供用期間中にわたる経年的な変化への対処方法を明らかにしておくことが求められる。

・・・(略)・・・

(1)2)の解説では、「【イ】供用期間中にわたる経年的な変化への対処方法を明らかにしておくことが求められる。」とされている。補強土壁に使用される部材等として壁面材や補強材がある。特に補強材は土中に設置されるため、点検等においてその状態を確認することは通常は容易ではない。このように状態把握が容易でないという特徴や、材料の耐久性の実態を考慮したうえで、経年的な変化への対処方法を検討する必要がある。

ここで、2.1 節で述べたように補強材の材料としては一般に鋼とジオシンセティックスが用いられている。ジオシンセティックス補強材は、通常想定される土中環境において材料の特性が化学的に安定しているため経年の変化の可能性が極めて小さい。対して、鋼製補強材の場合には経年の影響による腐食の可能性があるが、土中において長期間が経過した鋼製補強材の腐食実態については必ずしも十分に明らかとなっていない。したがって、土中に設置された鋼製補強材の腐食減量のデータを統計的に整理し、長期間が経過した際の腐食減量の見込みを検証し、その結果に基づき、経年的な変化への対処方法を明確にする。(2.3.10 項)

7.9 橋台背面アプローチ部

(1) 橋台背面アプローチ部は、以下の 1) から 3) を満足する構造としなければならない。

・・・(略)・・・

3) 1) 及び 2) を満足するための設計、施工及び維持管理の方法が明らかであること。

・・・(略)・・・

・・・(略)・・・

3) 橋台の設計で考慮する各状況における作用の前提として、また、橋との間で路面の連続性を確保するため、橋台背面アプローチ部の設計・施工・維持管理方法が明らかでなければならない。通常の土を用いた盛土構造であれば、適切な基礎地盤の処理と排水施設の設置を行うとともに、適切な材料を用いて締固め管理等を行い、踏掛版を設けたうえで、点検等の維持管理を適切に行うことにより、大規模な地震の際も含めて通行機能を確保するうえで重大な障害にならないことがこれまでの震災経験等により確認されている。一方で、通常の盛土構造以外の構造を用いる場合には、地震の影響を考慮する場合を含めた設計で考慮する各状況において考慮する【ウ】橋台への作用が想定通り作用すること、また、路面の連続性を確保するために必要となる設計・施工・維持管理方法が、実験等により検証されて事前に明らかとなっていることが採用の前提となる。【エ】ここで、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。特に、固化した構造や【オ】補強土壁等については、地震の際等における構造体の安全性、変位の程度や修繕方法、日常の維持管理方法など、路面の連続性等を確保するために必要となる様々な事項について明らかにしておく必要がある。また、【カ】例えば基礎地盤が軟弱な場合には想定外の変形や損傷が生じるなど、採用する構造の適用条件も明確化が必要である。なお、通常の盛土構造であっても、盛土高が高くなる場合には地震後等における沈下量が大きくなるため、適用に際して注意が必要である。

・・・(略)・・・

(1)3)の解説では、「【ウ】橋台への作用が想定通り作用すること、また、路面の連続性を確保するために必要となる設計・施工・維持管理方法が、実験等により検証されて事前に明らかとなっていること」が前提となる。この趣旨からは、橋台背面アプローチ部に用いる補強土壁の設計・施工・維持管理の方法は、橋台の損傷や路面の連続性について整理が必要である。道路機能への影響という観点では少なくとも路面の連続性に着目して、実際の変状事例等に対して対応されたものとなっている必要がある。このため、本報告書における一連の研究を実施するうえでの着眼点を明確にすることを目的に、橋台背面アプローチ部の補強土壁の被災事例を収集し、被害傾向や課題点を整理する。(2.3.1 項)

また、「【オ】補強土壁等については、地震の際等における構造体の安全性、変位の程度・・・(略)・・・明らかにしておく必要がある。」とされている。この趣旨からは、地震の際等において補強土壁の安全性及び変位がどのような状態にとどまっているのか、またその状態は補強材の降伏や補強領域を通るすべりが生じ始める状態に対してどの程度の余裕があるのかを判断できるように、実験等によって検証しておく必要がある。加えて、7.9(3)2)の解説では「【ク】橋台背面アプローチ部に変状が生じた場合の修復の判断の方法や修復の方法について十分に検討したうえで変状を速やかな機能の回復が可能となる範囲に留める必要がある。」とされている。したがって、地震の際等において生じ得る補強土壁の状態と補強

土壁の限界の状態について検証された結果に基づいて、修復の判断の方法等について検討する。(2.3.2 項)

さらに、「【エ】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。」とされており、この趣旨を踏まえ、地震動を受けた後の点検方法等の考え方を整理する。(2.3.11 項)

橋台背面アプローチ部の補強土壁では、その使われ方や置かれる地形的な条件の制約から、両側に壁面を有する構造や壁面に隅角を有する構造とされることがある。両側に壁面を有する構造や壁面に隅角を有する構造の場合には、一般部と異なりその形状が幾何学的に複雑である。そのため、幾何学的に複雑な形状に起因して特異な挙動を示す可能性がある。

例えば、両側の壁面が極端に近い場合や隅角部の交角が小さい場合には、補強材が輻輳する場合がある。補強材が輻輳すると、補強材が引抜かれる際に輻輳した補強材が相互に影響して単独の補強材が引抜かれる場合と比較して、その引抜き抵抗メカニズムが異なるおそれがある。そのため、補強材が輻輳する条件における補強材の引抜き抵抗のメカニズムを検証する。さらに、検証したメカニズムに基づき、補強材の引抜き抵抗力の算定手法について、単独の補強材として評価できる条件や輻輳する影響の考え方を整理する。(2.3.3 項)

また、両側に壁面を有する構造や壁面に隅角を有する構造の場合には、地震を受けた際において振動特性、土圧、張力、破壊形態等が一般部と異なる可能性がある。したがって、この可能性について実験等に基づいて影響の大きさや、設計上、一般部の補強土壁と同様に扱っても差し支えない条件や留意点について検証する。(2.3.4 項、2.3.5 項)

さらに、(1)3)の解説では「【エ】維持管理方法には、・・・(略)・・・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。補強土壁のメカニズムの根幹である補強材は、通常、設計ではその位置は水平であり、水平方向の引張りを除いてその形状は変化しないと仮定されている。一方で実際には、地震動等の水平力を受けて補強土壁が変形すると路面は沈下し、補強材の水平・鉛直位置のずれや補強材の変形等、補強材の位置・形状にも不整が生じ、厳密には設計で仮定するような状態とは異なったものとなり、張力もその影響を受けるおそれがある。そのような状態が過度に進展すると、補強土壁の状態の評価の信頼性が低下する可能性が考えられる。これに対応するために、補強土壁が変形した場合の補強材の状態(位置・形状の不整、張力等)に着目し、設計で想定する補強土壁の補強メカニズムが維持される変状の形態や変形量を検証する。さらに、その検証の結果に基づいて、点検において補強土壁の補強メカニズムが維持されているかを外形により確認するうえでの着眼点を整理する。(2.3.6 項)

7.9 橋台背面アプローチ部

・・・(略)・・・

- (3) 橋台背面アプローチ部の設計にあたっては、良質な材料を用いるとともに、以下の 1) から 3) を考慮しなければならない。

- 1) 基礎地盤の安定性
- 2) 橋台背面アプローチ部の安定性
- 3) 降雨等に対する排水性

・・・(略)・・・

(3) 路面の連続性を確保するためには、橋台背面アプローチ部は、一般の盛土等以上に材料の選定や基礎地盤の安定性、橋台背面アプローチ部の安定性、排水対策等に配慮して設計を行う必要がある。

【キ】橋台背面アプローチ部に用いる材料は、締固めが容易で、非圧縮性、透水性があり、かつ、水の浸入によっても強度の低下が少ない安定したものを用いる。このような材料として一般には砂質土が用いられる。ただし、河川堤防内に橋台を設置する場合などで砂質土を用いることができず他の材料を用いる場合や、軽量材料や補強土などの材料を用いる場合については、この節の規定の趣旨を踏まえて要件を満たすことができる材料であるかを確認のうえ用いる必要がある。使用材料や施工品質に関しては、参考資料 3 を参考にできる。

・・・(略)・・・

- 1) 基礎地盤に起因する橋台背面アプローチ部の変状には、圧密沈下や側方流動、液状化、斜面崩壊等がある。これらに起因した段差を抑制するためには、基礎地盤の強度特性等の確認を十分行う必要がある。例えば、日常の維持管理での対応が困難であるような著しい圧密沈下などが生じるおそれがある場合は、必要に応じて載荷重工法や同工法に加えて地盤改良を行うなど適切な沈下防止策を施すのがよい。また、斜面崩壊等に対しては、斜面崩壊等に伴う橋台背面アプローチ部への影響を考慮してこれを避けるように橋台位置を定めたり、斜面の変状程度が小規模な場合は変状を生じうる部分を除去して置換えを行うなど、適切な対策を施すのがよい。対策を行う場合は、橋台背面アプローチ部への影響を考慮して対策範囲等を定めるとともに、隣接構造物への影響も考慮して施工方法を検討する必要がある。なお、基礎地盤に沈下対策を施す場合であっても、圧密沈下の不確実性等を考慮し、一般的な土を用いた盛土構造とするなど不測の沈下が生じた場合にも対応しやすい構造を橋台背面アプローチ部に用いることが、構造設計上の配慮として考えられる。
- 2) 橋台背面アプローチ部自体に不安定化や損傷・変状が生じると、橋としての性能の確保に影響を及ぼすことから、このようなことを避けるようにする必要がある。

修復性に関しては、盛土等の変状の程度が点検で容易に確認でき、早期に供用の可否の判断が可能であることや、地震時に速やかな機能の回復が可能な程度の損傷に留めることなどが要求される。補強土は、山岳部や用地制約の厳しい条件において適用事例が多く一般的な盛土よりも高い耐震性を有する構造物であるが、橋台とは地震時の挙動が異なるため、路面の連続性に影響を及ぼす場合がある。したがって、【ク】橋台背面アプローチ部に変状が生じた場合の修復の判断の方法や修復の方法について十分に検討したうえで変状を速やかな機能の回復が可能となる範囲に留める必要がある。なお、【ケ】補強土壁は沈下による変形が生じた場合に一般に修復が困難であるため、基礎地盤が十分に安定している箇所を用いる必要がある。発泡スチロールを用いた盛土構造の場合にも、施工後に過度の即時沈下や圧密沈下が生じた事例があるため、同様の配慮を行うことが求められる。

- 3) 橋台背面アプローチ部は、降雨や湧水などにより水が集まりやすく、これに伴う侵食、背面土の強度低下や拔出しにより、沈下や崩壊に至る例も少なくない。

したがって、橋台背面土中に水が浸入及び滞水しないように、施工中の排水勾配の確保、路面やのり面の表面排水工及び地下排水工等の排水対策、のり面保護工等を実施する必要がある。橋台背面に設置する排水施設等は、参考資料 3 を参照するとよい。

(3)の解説の冒頭では「【キ】橋台背面アプローチ部に用いる材料は、締固めが容易で、非圧縮性、透水性があり、かつ、水の浸入によっても強度の低下が少ない安定したものをを用いる。・・・(略)・・・補強土などの材料を用いる場合については、この節の規定の趣旨を踏まえて要件を満たすことができる材料であるかを確認のうえ用いる必要がある。」とされている。補強土壁に使用する盛土材には、2.1節で述べたようにこのような趣旨に対応した材料が用いられている。ここで、路面の連続性を確保するという観点では、補強土壁の設計で行われる安定の照査以外にも、変形の問題が重要となる。地震の際のゆすり込み沈下に代表されるような変形は、盛土材の特性や締固めに大きく依存する。このため、盛土材料や締固めの方法は、地震後の橋台背面アプローチ部の段差量に着目し路面の連続性が確保されることが検証されたものである必要がある。(2.3.7項)

(3)2)の解説では「【ケ】補強土壁は沈下による変形が生じた場合に一般に修復が困難であるため、基礎地盤が十分に安定している箇所を用いる必要がある。」とされている。また、前述の(1)3)の解説では「【カ】例えば基礎地盤が軟弱な場合には想定外の変形や損傷が生じるなど、採用する構造の適用条件も明確化が必要である。」とされている。この趣旨から、補強土壁の底面の位置が下がる現象に起因して補強土壁に生じる状態や、路面の連続性や補強土壁の安定性の観点から確保すべき基礎地盤の条件及び対処方法を明確化する。(2.3.8項)

なお、(3)2)の解説で「【ク】橋台背面アプローチ部に変状が生じた場合の修復の判断の方法や修復の方法について十分に検討したうえで変状を速やかな機能の回復が可能となる範囲に留める必要がある。」とされているが、この記載については(1)3)の解説における検討内容において既に述べた。

ここまでで整理した橋台背面アプローチ部に補強土壁を用いるにあたって明らかとすべき事項や検討方針を一覧にすると、表-2.2.1のとおりである。2.3節では、本節で整理した事項に基づいて各種の検証を行う。

表-2.2.1 補強土壁を橋台背面アプローチ部として用いるにあたって検討が必要な事項

道示・同解説 の記載箇所	道示・同解説の記載	検討内容	本報告書での 該当箇所
7.9(1)3)解説	<u>【ウ】橋台への作用が想定通り作用すること、路面の連続性を確保するために必要となる設計・施工・維持管理方法が、実験等により検証されて事前に明らかとなっていること</u>	本報告書における一連の研究を実施するうえでの着眼点を明確にすることを目的に、過去の地震において主に震度5強以上の範囲にあった橋台背面アプローチ部の補強土壁の被災事例(約790件)を収集し、被害傾向や課題点を整理する。 整理した課題点に基づいて、橋台と補強土壁の接続部の開きに起因して生じる橋台端部のコンクリートの欠損、盛土材の漏出について、それぞれの原因を整理し対処方法について検討した。	2.3.1 項 2.3.9 項
7.9(1)1)解説	<u>【ア】設計で考慮する各状況、荷重の大きさや分布、構造特性、基礎地盤の条件、アプローチ部背面側の盛土の条件等を踏まえたうえで、実験等により検証して明らかにした橋台への作用等を設計で考慮する必要がある。</u>	橋台背面アプローチ部に補強土壁が用いられた場合の橋台への作用を動的遠心模型実験により検証する。	-性能検証項目編- にて報告
7.9(1)3)解説	<u>【オ】補強土壁等については、地震の際等における構造体の安全性、変位の程度・・・(略)・・・明らかにしておく必要がある。</u>	地震の際における補強土壁の安全性及び変位の程度を明らかにすることを目的に、現行設計に基づいて構築された補強土壁が、レベル2地震動に対してどのような状態にとどまり、及び限界状態に対してどの程度の安全余裕があるのかを実験的に検証する。ここでは主に、路面の沈下量、補強材の張力及び壁面の水平変位に着目する。さらに、現行設計に基づいて構築された補強土壁が補強材の降伏及び補強領域を通るすべりのいずれが先行して発生するかなどについて分析する。 以上の結果に基づいて修復の判断の方法等について検討する。	2.3.2 項
7.9(3)2)解説	<u>【ク】橋台背面アプローチ部に変状が生じた場合の修復の判断の方法や修復の方法について十分に検討したうえで変状を速やかな機能の回復が可能となる範囲に留める必要がある。</u>		
7.9(1)3)解説	<u>【オ】補強土壁等については、地震の際等における構造体の安全性、変位の程度・・・(略)・・・明らかにしておく必要がある。</u>	橋台背面アプローチ部の補強土壁にしばしばみられる両側に壁面を有する構造や壁面に隅角を有する構造について 補強材の引抜き抵抗力の評価手法の前提条件を明確にすることを目的として、補強材が輻輳する条件における補強材の引抜き抵抗のメカニズムを分析する。そのうえで、補強材の引抜き抵抗力の算定において単独の	2.3.3 項

		て、その形状が一般部と異なることによる影響を検証し、適用上の留意点等を明確にする。	補強材として評価することができる条件を検証する。	
			両側が補強土壁の盛土の地震被害の傾向について、現地調査結果の中から被害程度の大きい事例を抽出して調べる。さらに、両側の壁面の離隔と、振動特性、土圧、張力、破壊形態等の関係を動的遠心模型実験等に基づいて分析する。これらに基づいて、片面の補強土壁として扱うことができると考えられる条件等を検証する。	2.3.4 項
			壁面に隅角を有する補強土壁の地震時の挙動を有限差分法に基づく時刻歴解析により調べる。その結果に基づいて、片面の補強土壁として扱うことができると考えられる条件等を検証する。	2.3.5 項
7.9(1)3)解説	<u>【カ】例えば基礎地盤が軟弱な場合には想定外の変形や損傷が生じるなど、採用する構造の適用条件も明確化が必要である。</u>	補強土壁の底面の位置が下がる現象に起因して補強土壁に生じる状態や、路面の連続性や補強土壁の安定性の観点から確保すべき基礎地盤の条件及び対処方法を明確化することを目的に、現状の設計での対処方法の整理、変状事例の分析、部分的に地盤改良する条件においてを想定した遠心模型実験及び数値解析を実施する。		2.3.8 項
7.9(3)2)解説	<u>【ケ】補強土壁は沈下による変形が生じた場合に一般に修復が困難であるため、基礎地盤が十分に安定している箇所で用いる必要がある。</u>			
7.9(1)3)解説	<u>【エ】維持管理方法には、・・・(略)・・・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。</u>	地震動を受けた後の補強土壁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を示すことを目的に、水平力を受けて路面の沈下等の変形が生じた補強土壁の状態を検証する。具体的には、補強材の状態（位置・形状の不整、張力等）を動的遠心模型実験に基づいて分析し、設計で想定する補強土壁の補強メカニズムが維持される変状の形態や変形量を検証する。また、水平力を受けて変形した補強土壁の壁面材と補強材の接合部が、その機能を確保するうえで想定しておくべき状態を考察する。さらに、点検において、補強メカニズムが維持されているかを外形により確認するうえでの着眼点を整理する。		2.3.6 項

7.9(1)3)解説	<u>【オ】補強土壁等については、地震の際等における構造体の安全性、変位の程度・・・(略)・・・明らかにしておく必要がある。</u>	橋台背面アプローチ部において、路面の連続性を確保するために必要となる補強土壁の盛土材料及び施工方法を明らかにすることを目的とする。	2.3.7 項
7.9(3)解説	<u>【キ】橋台背面アプローチ部に用いる材料は、締固めが容易で、非圧縮性、透水性があり、かつ、水の浸入によっても強度の低下が少ない安定したものをを用いる。・・・(略)・・・補強土などの材料を用いる場合については、この節の規定の趣旨を踏まえて要件を満たすことができる材料であるかを確認のうえ用いる必要がある。</u>	橋台背面アプローチ部において大きな段差が発生した事例を対象に、その要因を考察する。要因のうち大部分を占めると考えられる盛土の締固めに着目し、変状事例における締固めの程度と段差量の関係から、締固めの効果を検証する。そのうえで、橋台背面（狭隘部）においても適切な締固めが達成され则认为される盛土材料の条件及び締固めの方法を、既往の知見に基づいて整理する。	
7.9(1)2)解説	<u>【イ】供用期間中にわたる経年的な変化への対処方法を明らかにしておくことが求められる。</u>	土中に設置される部材である補強材について、供用期間中にわたる経年的な対処方法を明らかとすることを目的とする。ここでは、補強土壁に一般的に用いられる補強材の中でも鋼製補強材に着目する。鋼製補強材の腐食減量のデータを統計的に整理し、100年後の腐食減量の見込みを検証する。その結果に基づき、鋼製補強材の経年的な変化への対処方法の考え方を整理する。	2.3.10 項
7.9(1)3)解説	<u>【エ】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。</u>	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。	2.3.11 項

参考文献

2.2-1) 公益社団法人日本道路協会：道路橋示方書・同解説 IV下部構造編，丸善出版，2017