

鉄道一般
車両
施設
電気
運転・輸送
防災
環境
人間科学
浮上式鉄道

橋りょうと補強盛土をつないで耐震性を向上する

鉄道構造物には幾種類もの構造物が連っており、異なる構造物が接続する境界部では特性の違いなどから、地震時などに大きな力が作用した時には障害が発生する可能性があります。ここでは、その1つとして特性の大きく異なる橋りょうと盛土の境界部について、2つの構造物をつなぐことにより弱点箇所の性能を向上させる工法について紹介します。



小島 謙一
Kenichi Kojima
鉄道地震工学研究センター
地震動力学研究室
室長
[専門分野]地盤工学

はじめに

連続した線状構造である鉄道構造物では、橋りょうやトンネル、盛土や切土など複数の種類の土木構造物が存在します。そのため、それぞれの鉄道構造物の中においては、必ず異なる構造物が接続する境界部分が存在します。構造物境界では、個々の構造物の材料や特性が異なるため、メンテナンスなどの重要箇所となることがあります。また、地震時においてはそれぞれの構造物の応答が異なるため、変状が発生し

やすくなります。

構造物境界として、これまでの地震時に被害が大きかったものとしては橋りょうと盛土の接続部が挙げられます。コンクリートや鋼を材料として作られた非常に硬い構造物である橋りょうに連続して、コンクリートなどから比べると比較的軟らかい土を用いた盛土が存在し、応答の違いなどから大きな段差が発生してきました。この問題は古くからあり、鉄道構造物の耐震性を向上させるという観点から非常に重要なポイントとなっていました(図1参照)。

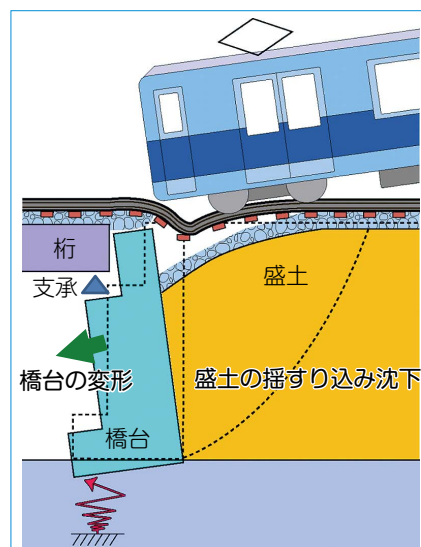


図1 橋りょうと盛土の境界部における変状例

橋りょうと盛土の境界部

地震により生じた橋りょうと盛土の変状事例を図2に示します。図2は兵



図2 兵庫県南部地震での橋りょうと盛土の境界部での被害¹⁾

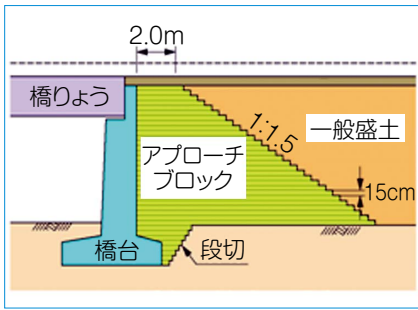


図3 アプローチブロックによる対策

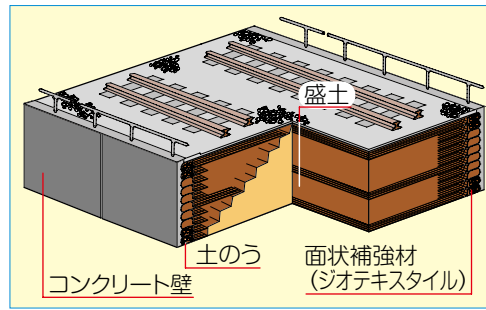


図4 補強土構造の概要

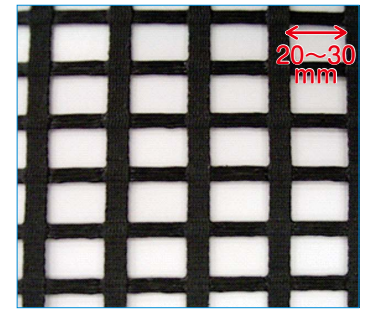


図5 面状補強材 (ジオテキスタイル)

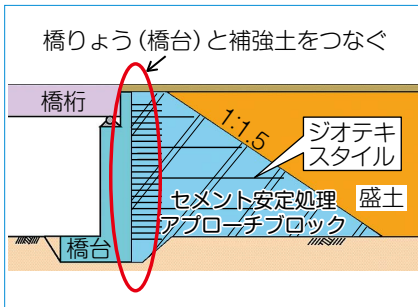


図6 補強土構造を用いた橋りょうと盛土の境界部



(a) 橋りょうにおける桁の流出



(b) 橋りょうと盛土の接続部における盛土の流出

図7 東北地方太平洋沖地震における三陸鉄道の被害

庫県南部地震における被災状況¹⁾を示します。写真奥側にある橋りょうは原形を残しているものの、手前側にある盛土は大きく沈下し、軌道がはしご状に残っているのみで元の形状を保っていないことがわかります。

鉄道構造物においては橋りょうと盛土の境界部における変状を抑制するために、急激な構造の変化を避ける緩衝区間として良質な材料(たとえば、粒度調整砕石やセメント改良土)を用いた台形状の品質の高い盛土区間(アプローチブロック)²⁾を設け、沈下を抑制する対策を行ってきました(図3参照)。

アプローチブロックは比較的小さな地震では効果的でしたが、近年発生した大きな地震においては変状が発生する事例も生じました。このような状況を踏まえ、大地震においても強い構造として補強土構造(図4参照)を用いた構造形式が開発されました。本構造は橋りょうから連続する盛土(境界

部)を面状補強材(ジオテキスタイル)(図5参照)という繊維を中に敷設した耐震性の高い盛土構造としたものです。補強土(図4参照)は新しい盛土構造として適用されてきており、兵庫県南部地震では激震地区にあった補強土がほとんど被災していないことが確認されています¹⁾。

そこで、盛土に補強土構造を用い、さらに橋りょうの端部にあたる橋台と盛土を盛土内に敷設してあるジオテキスタイルを通じて、「つなぐ」ことにより(図6)、境界部の変状を飛躍的に低減させ、耐震性能を大きく向上させることができました。

橋りょうも盛土もつなぐ

一方、2011年に発生した東北地方太平洋沖地震では大きな地震動に加え、巨大な津波が発生しました。津波による橋りょうの典型的な被災形態として桁の流出があります。落橋防止工で桁の対策が施されている場合は桁の流

出は防ぐことができたものの境界部の盛土が流出し、多くの橋りょうが被災しました。三陸鉄道における被災事例を(図7(a)、(b))に示します。

桁の流出を防ぐ方法としては、落橋防止工の他に一体型橋りょうがあります。これは支承がなく桁と橋台が一体化された構造であり、インテグラル橋りょうとも呼ばれ欧米などでは多くの実施例があります。しかし、温度変化に伴う桁の伸縮による境界部の盛土への影響などの課題があり、国内の鉄道構造物にはあまり使われていませんでした。

一体型橋りょうの特徴である支承を

補強土

ビニロンなどの土木用繊維材(ジオテキスタイル)や鉄などによる補強材を土の中に敷設することにより、高い性能を有した盛土構造です。鉄道では主として剛な壁(コンクリート擁壁)と土木用繊維による盛土を組み合わせた補強土擁壁が多く適用されています。

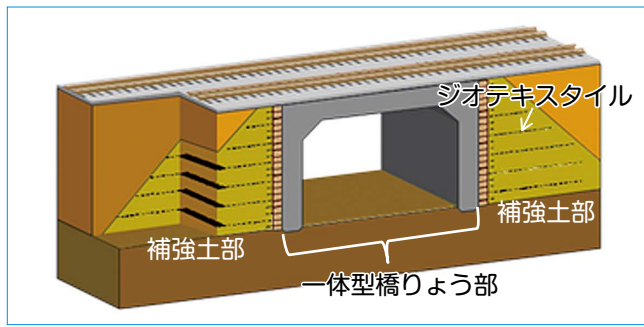


図8 補強盛土一体橋りょうの概要

従来形式	桁式(従来型)橋りょう 	(課題) <ul style="list-style-type: none"> ・ 支承のメンテナンス ・ 桁の落下, 流出 ・ 盛土の沈下
	一体型(インテグラル)橋りょう 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 盛土の沈下 ・ 土圧の増加による躯体への影響

	補強土構造を用いた橋りょう 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 支承のメンテナンス ・ 桁の落下, 流出
	補強盛土一体橋りょう 	(特徴) <ul style="list-style-type: none"> ・ 支承がなく, メンテナンス, 落橋の問題がない ・ 盛土の沈下が少ない ・ 津波による影響が少ない

図9 各橋りょうの課題と補強盛土一体橋りょうの特徴

桁式(従来型)橋りょう <p>255gal</p>	一体型(インテグラル)橋りょう <p>641gal</p>
補強土構造を用いた橋りょう <p>589gal</p>	補強盛土一体橋りょう <p>1048gal</p>

※図中の数字は崩壊時(実験終了時)の加速度

図10 模型振動実験終了時の状況

なくすということは、津波による桁の流出を防ぐ以外に、メンテナンスが容易になるというメリットもあります。そのため、維持管理におけるコスト面への貢献も非常に大きいことが分かりました。

境界部における盛土の流出に対しては前述の補強土構造の採用が有効です。耐震性が高く、橋台ともジオテキスタイルでつなぎ一体化されていることから高い耐力を有しています。また、補強土の材料として土にセメントを添加したセメント改良土を用いることで、浸食に対する耐力も向上することが可能となります。さらに、一体型橋りょうの大きな問題である桁の伸縮による境界部の盛土に生じる影響についても、補強土構造にすることにより安定性を向上させることが可能となります。本構造を補強盛土一体橋りょうと呼びます(図8参照)。図9には従来型の桁式橋りょうや一体型橋りょうなどの課題と補強盛土一体橋りょうの特徴をまとめます。

図10, 11には、開発にあたり実施した1/10モデルの模型振動実験の結果を示します。図10は実験終了時の状況です。各構造ともに崩壊に至るまで段階的に加振しましたが、補強盛土一体橋りょうは1048galと極めて高い耐震性があることが分かります。図11には、実験時における橋台天端の水平変位と境界部における盛土の鉛直変位を示します。それぞれの構造の特徴がでており、従来型の橋りょうでは200gal付近で橋台の水平変位、盛土の鉛直変位とも急増しています。これに対し、一体型橋りょうでは桁と橋台が一体化されているため橋台の水平変位が少なく、盛土の鉛直変位が多く発生しています(500gal付近以降)。また、補強土を用いた橋りょうは盛土

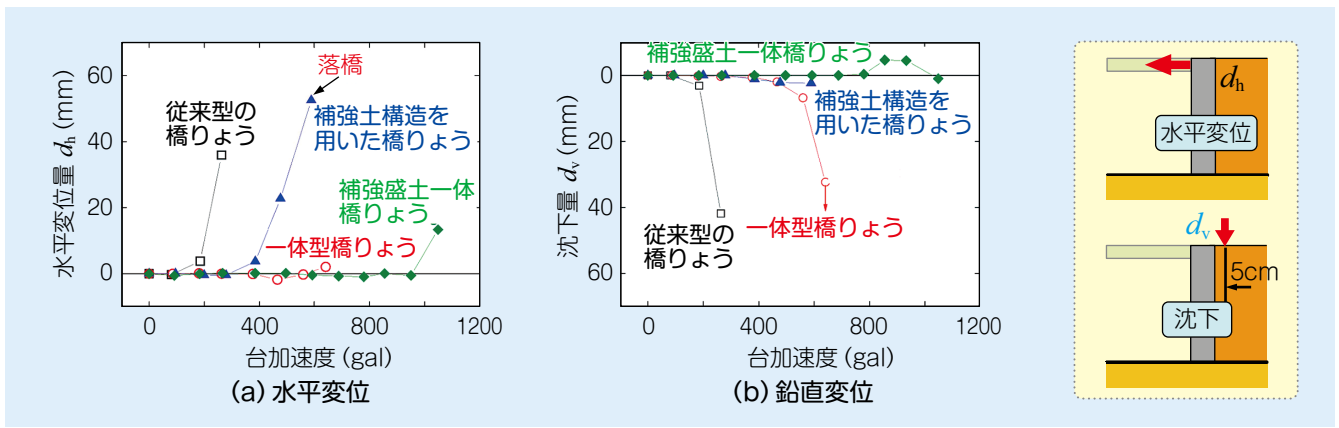


図11 模型振動実験結果



図12 木古内における補強盛土一体橋りょう
(北海道新幹線)



図13 ハイベ沢橋りょう
(三陸鉄道・北リアス線)

が安定しているため鉛直変位が少ないですが、橋台の水平変位の増加がみられます(500gal付近以降)。補強盛土一体橋りょうは双方の特徴を持ち合わせており、高い加速度においても、水平変位、鉛直変位ともに非常に少ない変形量であることが分かります。

補強盛土一体橋りょうは、これまで開発されていた技術である桁と橋台をつなぎ支承をなくした一体型橋りょうと耐震性の高い補強盛土を「つなぎ」融合することにより、非常に地震に強い新しい橋りょう構造をつくりあげることができました。

実構造物への適用

図12は北海道新幹線の木古内駅付近に構築された橋りょうです。当現場では道路空頭を確保するため通常の

ボックスカルバート構造が適用できず、各種構造の比較検討³⁾の結果、性能や維持管理性、コストの面から補強盛土一体橋りょうが適用されました。

三陸鉄道は2011年の東北地方太平洋沖地震で大きな被害を受けました。三陸鉄道を復旧するにあたり3つの補強盛土一体橋りょうが採用されました(図13)。この箇所は60mという非常に長いスパンが特徴です。桁の温度変化による伸縮の影響が重要視されるインテグラル橋りょうにおいてスパンの長い構造は条件としては厳しいものですが、隅角部構造などを工夫することにより安定した構造としています。三陸鉄道は2014年4月に全線復旧(北リアス線、南リアス線)し、本構造も供用を開始しています。

おわりに

インテグラル橋りょうと補強盛土をつないだ補強盛土一体橋りょうはそれぞれの構造の特徴を生かし、かつ欠点を補うことを可能とした高い性能を有する構造物です。本構造物を適用することにより、鉄道全体の耐震性能がより向上することが期待されます。[RRR]

文献

- 1) 龍岡文夫監修：新しい補強土擁壁のすべて—盛土から地山まで—，総合土庫研究所，pp.96-100，2005
- 2) 鉄道総合技術研究所編：鉄道構造物等設計標準・同解説 土構造物(平成25年改訂版)，丸善，2013
- 3) 栗山亮介，小島謙一，森野達也，渡辺和之，青木一二三，山田康裕：新幹線構造物に用いた補強盛土一体橋梁の動態計測，ジオシンセティックス論文集，国際ジオシンセティックス学会日本支部，Vol.27，pp.149-156，2012