Title : Full-scale loading tests on the reinforced embankment
with a short geotextiles and rigid facings.

Authors : Masaru Tateyama (Railway Technical Research Institute)
Osamu Murata (Railway Technical Research Institute)

Abstract: We proposed a new economical reinforced embankment method.

In this method, relatively short planar geotextile are used together with a continuous rigid facing structure placed after the filling of backfill is completed.

For develop this method, two full-scale test embankments having near-vertical slopes were constructed in 1988, one using clay and one using sand.

Three sections of sandy embankment performed static and dynamic loading tests. This paper describes referring to the results of those loading tests.

題名： 剛壁面を有する補強盛土の載荷試験

著者： 館山 勝 (財団法人 鉄道総合技術研究所 垂水研究室)
村田 修 (財団法人 鉄道総合技術研究所 垂水研究室)

概要： 鉄道総研では経済的な新しいタイプの補強盛土を提案してきた。この工法は、短めの面状補強材を用い盛土を構築し、盛土構築終了後に一体打ちの剛な壁面を打設するものである。

この工法を開発するために1988年に砂質土並びに粘性土を用いた2つの鉛直勾配の実物大試験盛土を構築した。

このうち砂質土盛土の3区間において、動的並びに静的な載荷試験を実施した。本文はこれらの載荷試験結果について報告するものである。

剛壁面を有する補強盛土の載荷試験

(財) 鉄道総合技術研究所 館山 勝
村田 修

1. はじめに

従来の補強土工法は、テールアルメ工法に代表される様に、引張剛性が高い補強材（鋼製帯）を粗に配置し、また壁面工については単に背面砂のこぼれ出しを防ぐための物で、安定計算上では力学的に何の意味も持たないものと考えられており、分割された壁面工が用いられてきた。これに対し鉄道総研では、面状の補強材と壁面剛性の効果を有効に用いることにより、安定に必要な補強材の長さ並びに強度を従来より大幅に小さくすることが可能となり、腹付け盛土等の狭あいな場所での施工に有利で工事費節減に効果のある補強土工法を考案した。

この工法の実用化を図る一連の試験を、運輸省からの受託研究「鉄道技術基準に関する研究」の一環として実施してきた。1) 2) 3) 4) 5) 表1にはこれまで行った研究項目の一覧を示す。

これらの成果を踏まえ、砂質土盛土の載荷試験を実施したので結果について報告する。

2. 試験盛土の概要

昭和62年度に、全体剛性のある壁面工を用い、面状補強材（布や繊維製のネット等）を密に配置することを基本とした、砂質土並びに粘性土を用いた試験盛土の構築をした。1) 2)

図1 砂質土盛土平面図

表2 載荷断面（砂質土盛土）の諸元一覧

パターン	勾配	壁面タイプ	補強材料	使用補強材	記事
C	1：0.15	一体壁	2.0m	繊維ネット	壁面勾配の影響
D	1：0.05	一体壁	2.0m	繊維ネット	基本ケース
F	1：0.05	一体壁	1.5m	繊維ネット	補強材長の影響
G	1：0.05	一体壁	2.0m	樹脂ネット	補強材質の影響
H	鉛直	分割壁	2.0m	繊維ネット	壁面剛性の影響
I	1：0.05	一体壁	2.0m	繊維ネット	壁面定着部補強

試験盛土の高さは5mで、幅は鉄道の単線幅である6.9mである。今回報告するのは、このうち砂質土盛土で実施した載荷試験結果である。表2には載荷断面における諸元の一覧を示す。

3. 試験方法

(1) 動的載荷試験

動的載荷試験は鉄道総研所有の起振機を用い、図1に示す試験区間（C－D断面：基本ケース、G－F断面：補強材の長さが短いケース、H－I断面：壁面剛性が小さいケース）において、列車荷重を模擬した動的な載荷試験を実施した。行った試験は共振試験並びに繰返し載荷試験である。

載荷方法としては、共振試験については起振力4tf、周波数を5Hz～25Hzで1Hz刻みとし、特に共振点の周辺では0.2Hz刻みとした。繰返し載荷試験については新幹線における周波数を模擬し20Hz一定とし、起振力については2tfから10tfまで2tf刻みに変化させ、各荷重段階で荷重が定常状態になった後、10万回づつ繰返し載荷した。

主な計測配置を図2に示す。加速度計はひずみゲージ式のもの、サーボ式加速度計で積分回路により変位量に換算できるものの2種類を用いた。また変位計は主に繰返し載荷試験後の残留変位量を計測するために設置したもので、振動の影響の少ない場所に基礎を設け、計測フレームを設置し取り付けた。

図2 起振実験概要図

なお起振機の据え付けに際しては、図に示す様な軌道を作成し、荷重の分散が現実に近いように配慮した。

(2) 静的載荷試験

載荷箇所は起振試験と同一の3箇所とした。載荷装置並びに反力アンカーは、最大100tf/m²の載荷が行えるように設計した。図3には載荷試験標準図を示す。

載荷方法は載荷板（線路方向3m、線路直角方向2m）を4台の油圧ジャッキ（1台の載荷能力600tf、ストローク30cm）で等圧力で載荷する応力制御方式とした。載荷は原則的には1段階5tf/m²、荷重保持時間を30分間とし、段階的に荷重を加えた。また15tf/m²では荷重保持時間5分で10回の繰返し載荷を行った。破壊荷重に近い段階では、破壊荷重を見落とさないように1段階2.5tf/m²とし、その際の荷重保持時間は15分間とした。

図3 静的載荷試験概要図

各試験区間における計測は、あらかじめ盛土内に設置してある土圧計、補強材ひずみ計、間隙水圧計の他、載荷に伴う盛土並びに載荷板の変形、載荷板圧力等を計測した。載荷にあたり載荷板底面にはあらかじめローラーを取り付け、載荷重が傾斜しないように配慮した。また本試験は2次元モデルとして試験を計画しているため、試験区間と緩衝区間との間には極力摩擦が発生しないように構築時にグリースによる縁切り層を設けている。⁶⁾

4. 載荷試験結果

(1)動的載荷試験

図4には各試験区間における加速度の共振曲線を示す。これによると柔壁面（タイプH）で18Hz周辺に、剛壁面（タイプF、D）で14Hz周辺に共振周波数が存在するようである。一般的には共振周波数が低下する原因としては、盛土体の剛性が低くなることが考えられるが、ここではタイプDはHに比べ、他は全て同様に壁面の剛性を上げているので、この理由は考え難い。したがってこの現象は壁面コンクリートを打設していることにより、タイプHに比べタイプDのマスが大きくなり、このため共振点が低下したのではないかと考えられる。

タイプFはタイプDと同じ剛壁面を有しているが、補強材の長さが1.5mと若干短くなっている。2つを比較すると共振周波数はほぼ同じ14Hz周辺であるが、振動源（起振機）の加速度に対する盛土内各点での加速度応答は、タイプDの方がタイプFより大きく減衰しているようである。特に盛土天端における減衰は非常に大きい。これは補強材を配置している領域を一体化した領域と考えると、タイプDの方が一体化した部分が大きく、したがって振動に対する拘束効果が大きくなっているものと考えられる。

図4 各試験区間での加速度共振曲線

図5 周波数一定（20Hz）の場合の加速度応答曲線

図5には繰返し載荷試験の際の加速度応答曲線を示す。各区間ともほぼ線形の関係にある。柔壁面の方が剛壁面に比べ全体的に大きな加速度であるが、これは加振周波数が柔壁面の共振周波数に近いため一概に比較できない。またかく断面とも繰返しに伴い残留変形が生じることはなかった。

一般に鉄道では、列車荷重による路盤振動の評価を道床尻における動変位で行っており、一般的な盛土で0.5mm程度、1mmを越えると要注意箇所とされている。本試験における計測結果では電車相当荷重時の道床尻部での動変位は約0.4mm程度であり、特に問題となる値ではなかった。ただし通常の盛りこぼし形式の盛土と比較すると、マスを減らしている分、確実に振動値は大きくなるものと考えられる。しかしこのことは本工法に限った問題ではなく、のり面を急勾配にした盛土（例えば、テールアルメや擁壁を用いた盛土等）全般に共通する問題であり、別途研究する必要があるだろう。

(2) 静的載荷試験

1) 荷重沈下曲線

試験を実施した3つの区間は、補強方法を左右の断面で変えており、相対的に右側を耐力の小さい断面としている。したがって今回の載荷試験は断面D（基本タイプ）、F（補強材の長さが短いタイプ）、H（壁面の剛性を低下させたタイプ）の比較載荷試験となる。

載荷は装置の安定上、問題が生じない限りは盛土高さの10%（50cm）以上の変形量を加えることを目標としたが、柔壁面（タイプH）の場合には、目標の変形量に達する前に載荷板の左右で大きな変形差が生じ載荷装置が大きく傾いたため、そこで載荷を終了した。

図6には各試験区間における載荷板の荷重沈下曲線を比較したものを示す。各試験断面での最終保持荷重はタイプD（基本ケース）で57.5tf/m²、タイプF（補強材の短いケース）で50.0tf/m²、タイプH（壁面剛性の小さいもの）で37.5tf/m²であった。またこれらの結果を対数表示し降伏荷重を推定すると、タイプDで50tf/m²、タイプFで40tf/m²、タイプHで25tf/m²付近で降伏しているようである。⁶⁾

図7には各タイプにおける載荷圧力と壁上端における水平変位量の関係を示したものである。これからも剛な壁面を有するタイプD、Fについては明らかに途中で降伏していることが分かる。剛壁面におけるこれらの降伏は、コンクリート壁面の打継ぎ部でクラックが発生し、壁面剛性が低下したことにより生じた降伏であると判定でき

図6 載荷圧力・沈下曲線

図7 載荷圧力・壁面変位曲線

る。したがって壁面剛性が十分確保されている場合には、より大きな耐力を有しているものと思われることから、今後は打継ぎ部の構造に留意する必要がある。

3) 盛土の変形状況

写真1には載荷試験終了後の壁面の変形状況を、写真2には載荷試験の全景を示す。変形モードとしては一体壁（タイプD、F）では転倒モード、分割壁（タイプH）では壁面全体が押し出されるような滑動モードとなっており、別途実施した模型実験^{7) 8)}と同様の結果が得られた。また写真から分かるように、一体壁の場合にはちょうど打継ぎ部で「く」の字に変形しており、載荷途中から壁面の剛性が保持されていなかったことが伺われる。分割した壁面については、変形が壁面下端の2つのパネルに集中しているため、実際のダメージ以上の印象を与えるようである。載荷試験終了後に行った断面H-Iの解体では、補強領域の背面に土楔が発生し、補強領域体がセン断変形を生じているのが確認された。

（分割壁）

（一体壁）

写真1 壁面の変形状況

写真2 載荷試験全景

4) 補強材引張力

図8にはタイプD（基本ケース）とタイプH（柔壁面）における補強材の引張力分布を示す。ここの値は、タイプDおよびHにおいて最大載荷重時での、補強材に発生した歪から算出したもので、盛土構築時からの総量を示している。測定位置については文献1)を参照して頂きたい。

これによると補強材は大きな載荷重を受けた場合でも発生する引張力は400kgf/m程度であり、載荷前の引張力の2倍程度であった。この値は一般に行なわれる極限解析により求められる補強材必要強度と比較して非常に小さい。また引張力の分布についてはタイプD（剛壁面）の場合には各高さで一様に増加しているが、タイプH（柔壁面）の場合は部分的に減少しているものもあり、複雑に応力を再分配している様に見受けられる。載荷重の大きさから考えるとこの引張力は非常に小さく、従来考えられていた様な土塊を定着するような力は生じていない。むしろ補強材が配置されてある領域の一体性だけを保証する力だと考えられる。ただし今回の載荷は補強材背面から載荷したものであり、補強領域上から載

荷した場合にはこの限りでないことは、模型実験並びに別途行った粘性土盛土の載荷試験から確かめられている。

図8 補強材の引張力分布

5. まとめ

載荷試験の結果、列車荷重を模擬した起振実験では、実用上問題となる変形は生じなかった。また静的載荷試験では、剛性のある壁面は柔な壁面に比べ降伏荷重で2倍程度大きく、十分な耐力があることが確認できた。しかもこの値は壁面にクラックが生じたことによる剛性低下による降伏であるため、打継ぎ部の施工や構造細目等に留意した場合には、より大きな耐力があると考えられる。

(謝辞) 本研究は東京大学龍岡助教授の指導を受けている。また試験の実施にあたっては東急建設(株)田村幸彦氏の協力により行われたものである。末筆ではありますが深甚の謝意を表します。

<参考文献> 1) 館山、村田、龍岡(1988): 短い面状補強材と剛な壁面を有する試験盛土の計画、施工、第23回土質工学研究発表会 2) 村田、館山、田村、中村、龍岡(1988): 短い面状補強材と剛な壁面を有する試験盛土(関東ローマ)の計画、施工、土木学会第43回年次学術講演会 3) 村田、館山、御船他4名(1988): 盛土補強用繊維ネットの材料特性、第23回土質工学研究発表会 4) 館山、村田、龍岡(1990): 短い面状補強材と剛な壁面を有する盛土の大型耐震試験、第25回土質工学研究発表会 5) 村田、館山、龍岡(1989): 短い面状補強材と剛な壁面を有する試験盛土の長期動態計測、土と基礎VOL137N011 6) 村田、館山、龍岡(1990): 短い面状補強材と剛な壁面を有する砂質土盛土の載荷試験(その1)(その2), 土木学会第45回年次学術講演会 7) 館山、龍岡(1987): 短い面状補強材で補強された擁壁の室内試験、第22回土質工学研究発表会 8) 館山、龍岡(1987): 補強擁壁におけるフェーシングの力学的役割に関する実験的研究(その1)(その2), 土木学会第42回年次学術講演会