崩壊防止ネットと地山補強材を併用した石積み壁の耐震補強方法に関する静的載荷試験

東日本旅客鉄道株式会社　正会員　○池本宏文　藤原寅士良　鬼頭和也　橘内真太郎
（公財）鉄道総合技術研究所　正会員　中島進　窪田勇輝　佐々木徹也　渡辺健治

１．はじめに　崩壊防止ネットと地山補強材を併用した石積み壁の耐震補強効果について傾斜・中型振動台実験[1)]，および大型振動台実験[2)]を実施し，補強効果を確認してきた。既往の実験では土槽の奥行幅に制約があるため，標準的な補強材の水平間隔を模擬した実験を行ってきた。鉄道構造物等設計標準 土留め構造物[3)]では，切土補強土擁壁（剛壁面）における地山補強材の引抜き抵抗力を補強材の水平間隔などから算定するが，開発した補強方法において，合理的な補強量を検証するには水平間隔を広げた場合の引抜き抵抗力への影響を確認する必要がある。また，既往の実験では設計地震動相当の載荷において，補強効果は確認できたものの試験装置等の制約から大変位（限界状態）までの性状は確認できていない。以上のような背景から，奥行幅 2m のせん断土槽を用いて，補強材の水平間隔を広げた仕様での静的載荷試験を行い，大変位での補強効果を確認したことから，その内容を報告する。

２．実験概要　実験模型の概要を**図-1，2** に示す。今回の試験に用いた模型及び地盤条件は既往の実験[1)]と同じ仕様とした。試験は**表-1** に示す 2 ケースを行った。Case1 は補強材の水平間隔を既往の実験と同じ間隔(297mm)にし，Case2 は水平間隔を 1.3 倍に広げて 396mm とした。載荷試験は鉄道総研所有の「基礎の動・静的載荷試験装置(内幅 2m×内奥行 2m×内高さ 3m)」を用いて，**図-1** の中段ジャッキの変位を基準とした変位制御での載荷を行った。載荷ステップ等は文献 4)を参考にし，下段ジャッキを固定した状態で中段ジャッキと下段ジャッキの境界を支点とした単純せん断モードとなるように制御した。なお，Case2 の載荷では 80mm 載荷後に補強材の水平間隔の影響を更に検証するために 2，4 列目の補強材とネットの締結を解除(水平間隔 792mm)して載荷した。

３．実験結果　**図-3** は Case2 の全ステップ載荷後の状況写真であるが，大変位を与えても崩壊は認められなかった。**図-4** は載荷荷重と正規化水平変位の関係を示したものであり，正規化水平変位は，**図-2** の補強材間中央における最大の水平変位を石積み壁高さ(721㎜)で正規化している。なお，Case2 の補強材とネット締結解除後のグラフを原点補正して示している。Case1，Case2 ともに最大荷重（図中の矢印）までは変位に伴い荷重が増加し，最大荷重以降は荷重が上がらず変位が増大する傾向となっている。最大荷重までの荷重変位関係の勾配は補強量の多い，Case1

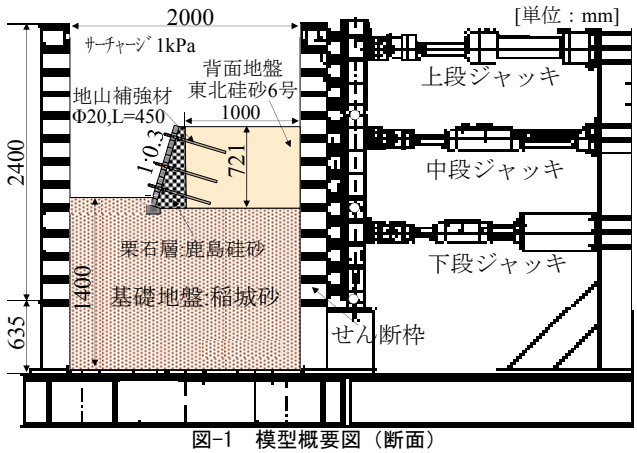

図-1　模型概要図（断面）

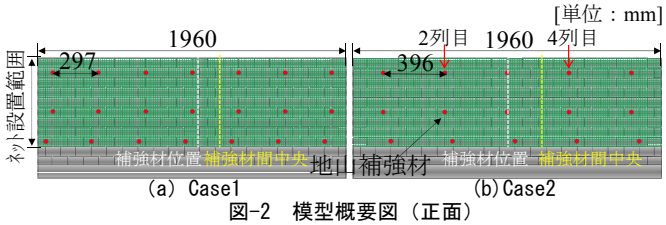

図-2　模型概要図（正面）

表-1 試験ケース

	補強材仕様	載荷ステップ
Case1	7 列 3 段 水平間隔：297 ㎜	2.0 ㎜,5.0 ㎜,10 ㎜,20 ㎜,40 ㎜,60 ㎜
Case2	5 列 3 段 水平間隔：396mm	2.0 ㎜,5.0 ㎜,10 ㎜,20 ㎜,40 ㎜ 80 ㎜, 60 ㎜(ﾈｯﾄ・補強材締結解除)

※各ステップ載荷後に 5 分間の変位保持を行った

図-3　Case2 の全ステップ載荷後の状況写真（土槽上から）

キーワード　石積み壁　地山補強材　崩壊防止ネット　せん断土槽　静的載荷試験
連絡先　〒331-8513　埼玉県さいたま市北区日進町 2-479 JR 東日本研究開発センター　TEL048-651-2552

のほうが急になっている。載荷終了時の正規化水平変位は Case1 で 6%程度，Case2 で 15%程度となっており，既往の実験において同様の模型仕様では最大でも 3%程度であったことを考えると今回の試験では大変位の載荷を行ったことが分かる。**表-2** は補強材の水平間隔から Case1 を基準にした単位長さあたりの補強材量比（1/間隔比）と最大荷重比を示したものである。Case2 の 1/間隔比と最大荷重比は概ね一致しており，補強量に対応して最大荷重が発揮されていることが分かる。これはネットが石積み壁全体を拘束し，作用に対して補強材の引抜き抵抗で負担しているためである。なお，Case2 の締結解除後は，1/間隔比よりも最大荷重比が大きくなっているが，これはネットと補強材の締結を解除したとしても模型地盤内に補強材が残置しているためであると考えられる。**図-5** は水平換算した土圧合力と正規化水平変位について，補強材間中央と補強材位置での関係を示したものである。**図-6** は Case2 における地山補強材張力と正規化水平変位についてまとめたものである。土圧合力に関しては，補強材間中央よりも補強材位置の土圧合力が大きくなる傾向にあり，これは補強材位置では補強材間よりも補強材の拘束効果が働くためであると考えられる。また，土圧合力は Case2 の補強材位置のものを除き，最大荷重時付近で上限に達し，それ以降は増加していない。Case2 の補強材張力を見ると上段のものは最大荷重時付近で上限値に達しているが，中段・下 2 のものは勾配が緩やかになるが変位の増加に伴い張力も増加する傾向にある。以上のことから，ネットが壁面を全体拘束して全体の作用を補強材の引抜き抵抗で負担するため，最大荷重時までは補強材張力の上昇に伴い，拘束効果により土圧合力が増加していることが分かる。また，最大荷重以降も補強材張力は減少することなく，補強材張力が発揮されネットの拘束効果が維持されていることが分かる。これは既往の実験結果と同じである。なお, Case2 の補強材位置での土圧合力は最大荷重以降も増加しているが，これは中段・下段の補強材張力が上昇していることから，拘束効果が働いているためである。

4．まとめ

本試験により分かったことを以下に記す。

・静的載荷試験により，既往の実験よりも補強材間隔を広げた条件において大変位まで載荷を行っても崩壊することなく，ネットと補強材による補強効果を確認できた。

・ネットが石積み壁全体を拘束し作用に対して補強材の引抜き抵抗で負担するため，補強材の数量（水平間隔）に対応して補強効果（最大荷重）が発揮される。

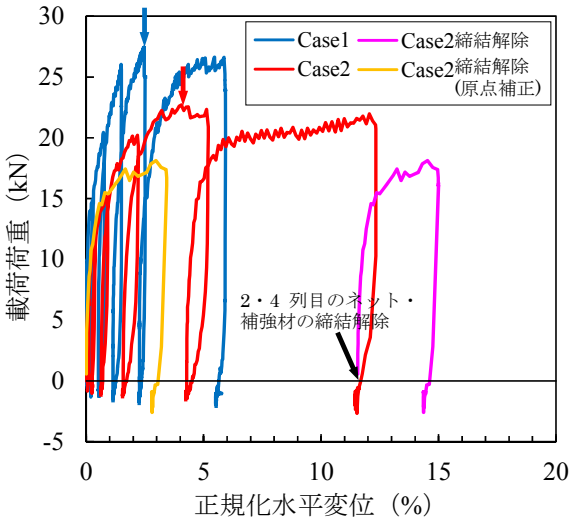

図-4 載荷荷重と石積み壁の正規化水平変位の関係

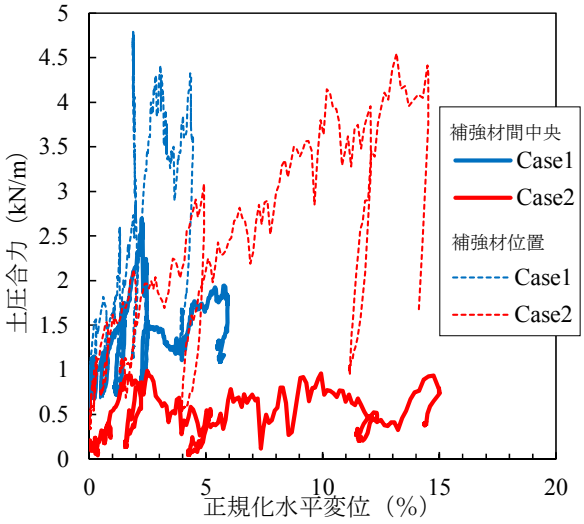

図-5 土圧合力と石積み壁の正規化水平変位の関係

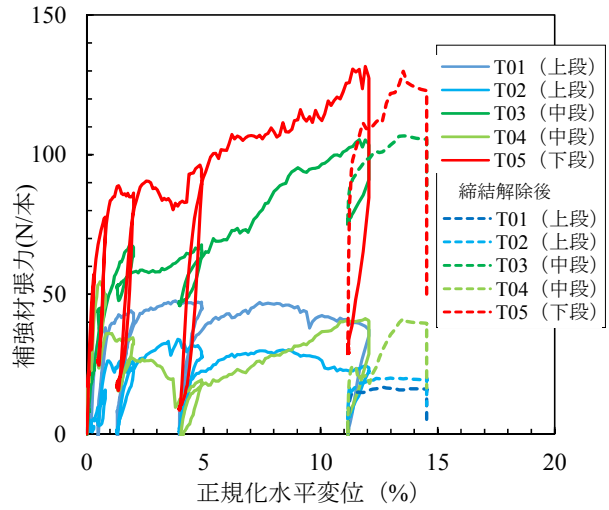

図-6 補強材張力と石積み壁の正規化水平変位の関係(Case2)

表-2 最大荷重の比較

	補強材水平間隔(mm)	間隔比	1/間隔比	最大荷重(kN)	最大荷重比
Case1	297	1.00	1.00	27.5	1.00
Case2	396	1.33	0.75	22.7	0.83
	792(締結解除)	2.67	0.38	18.1	0.66

※間隔比，最大荷重比は Case1 を基準にして算出

参考文献 1)佐々木他：崩壊防止ネットと地山補強材を併用した石積み壁の耐震補強方法に関する傾斜・振動台実験, 第 49 回地盤工学研究発表会, 2014 2)池本他：崩壊防止ネットと地山補強材を併用した石積み壁の耐震補強方法に関する大型振動台実験, 第 49 回地盤工学研究発表会, 2014 3)国土交通省監修 鉄道総合技術研究所編：鉄道構造物等設計標準・同解説 土留め構造物, 丸善, 2012 4)篠田他：鉄道もたれ壁の安全性に係わる健全度診断法の開発, 土木学会論文集 C(地圏工学), Vol. 68, No. 2, PP. 433-450, 2012