

第5章 盛土の損傷調査及び掘削調査

本章では、地震動による盛土の破壊形状を確認するために実施した調査結果について論じている。まず、各加振直後に目視観察を行って、盛土の損傷様子を把握した。次に、盛土内部の破壊形状を確認するため、盛土を慎重に掘削しながら盛土内部の様子を観察した。また、法面のクラックに関しては、表面に溜まっている土を人力で取り除きながら、クラックの位置を測定した。最後に、破壊面推定用のひずみゲージ付きジオグリッドの計測データを分析して、破壊面を推定した。

5.1 盛土の損傷調査

各加振直後に、目視による損傷調査を実施した。写真 5-1～写真 5-4 に各加振直後に天井のカメラで撮影した盛土の様子を示す。加振条件 1（最大 125Gal 相当波）及び加振条件 2（最大 245Gal 相当波）の加振後は、両側（1 段・2 段タイプ）とも法面においてクラック等の損傷が見られなかった。加振条件 3（最大 376Gal 相当波）の加振直後の場合は、1 段タイプ側の法面の下部にクラックが発生したものの（写真 5-5(a)）、2 段タイプ側の法面では、クラックが確認できなかった（写真 5-5(b)）。また、両側とも法肩部が崩れていることを確認した。一方で、加振条件 4（最大 660Gal 相当波）の加振直後、同じく目視による損傷調査を行った結果、両側とも法面の上下部にクラックが発生していることが確認できた（写真 5-6）。

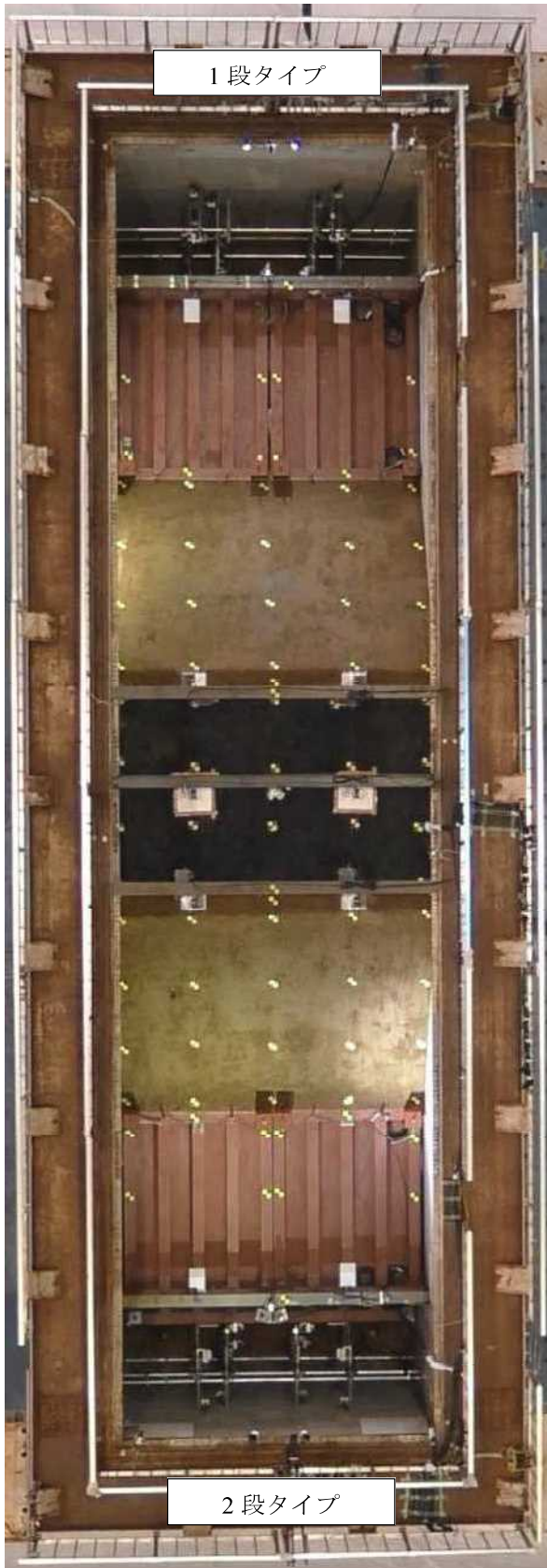


写真 5-1 加振後の盛土の様子
(加振条件 1, 最大 125Gal 相当波)

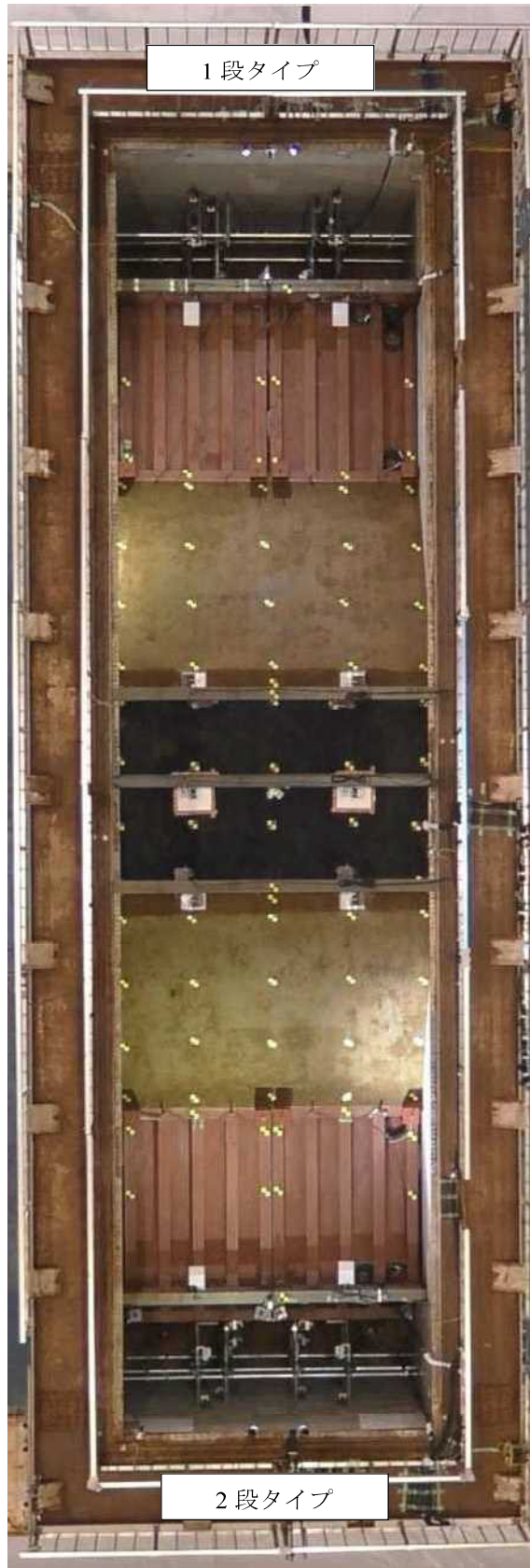


写真 5-2 加振後の盛土の様子
(加振条件 2, 最大 245Gal 相当波)

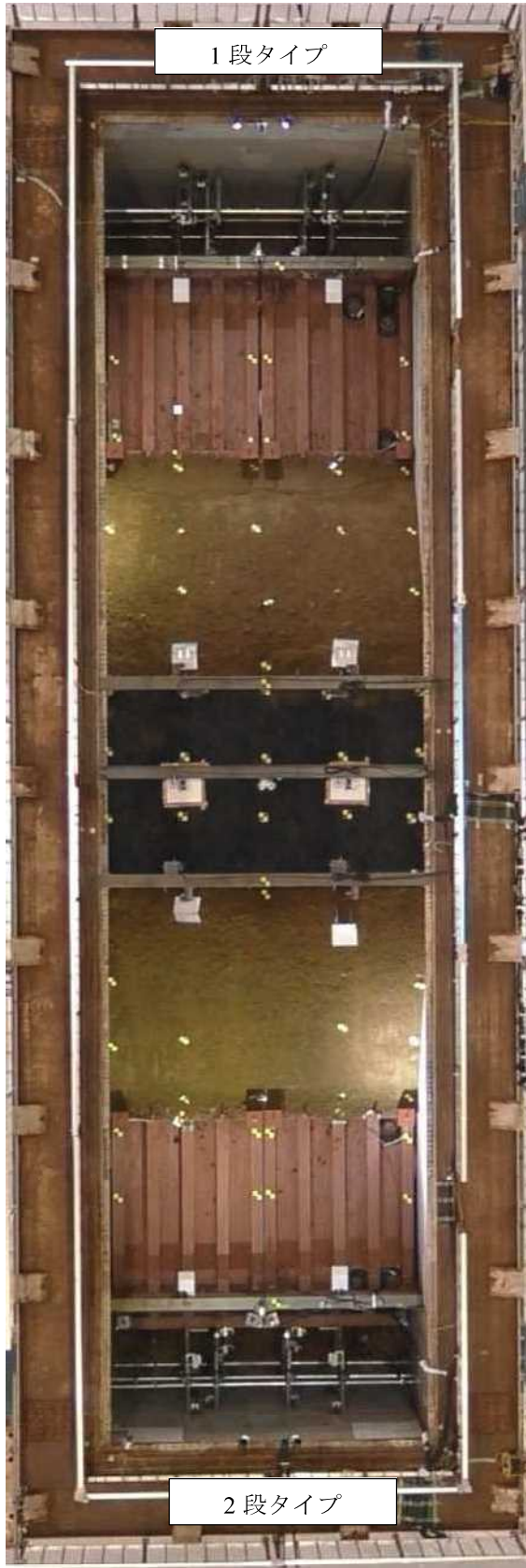


写真 5-3 加振後の盛土の様子
(加振条件 3, 最大 376Gal 相当波)



写真 5-4 加振後の盛土の様子
(加振条件 4, 最大 660Gal 相当波)



(a) 1 段タイプ側



(b) 2 段タイプ側

写真 5-5 法面の損傷状況(加振条件 3(最大 376Gal 相当波)の加振直後)



(a) 1 段タイプ側



(b) 2 段タイプ側

写真 5-6 法面の損傷状況(加振条件 4(最大 660Gal 相当波)の加振直後)

5.2 盛土の掘削調査

加振実験後、盛土内部における損傷を把握するため、目視による損傷調査及び掘削調査を実施した。以下にこれらの調査結果について述べる。

5.2.1 天端の掘削調査

盛土天端の損傷を確認するため、天端に施工した舗装の解体作業を行った。まず、カッターを用いて舗装部（H=3.9m）を切った上で、舗装部を取り出した。その後、碎石層（H=3.85m）を確認したところ、天端のクラックは確認できなかった。更に、スコップを用いて碎石層から盛土の高さ H=3.65m まで慎重に掘削調査を行ったが、クラックが確認できなかった（写真 5-7、写真 5-8）。



写真 5-7 碎石層の様子



写真 5-8 盛土の天端の様子

5.2.2 法面の掘削調査

1 段・2 段タイプ側の法面における損傷状況を写真 5-9 と写真 5-10 とに示す。箒とスコップを用いて、人力で溜まっている土を少しずつ取り除きながら、それぞれのクラックの形状を確認した後、Total Station を用いてクラックの位置を測定した。その結果を図 5-1 に示す。

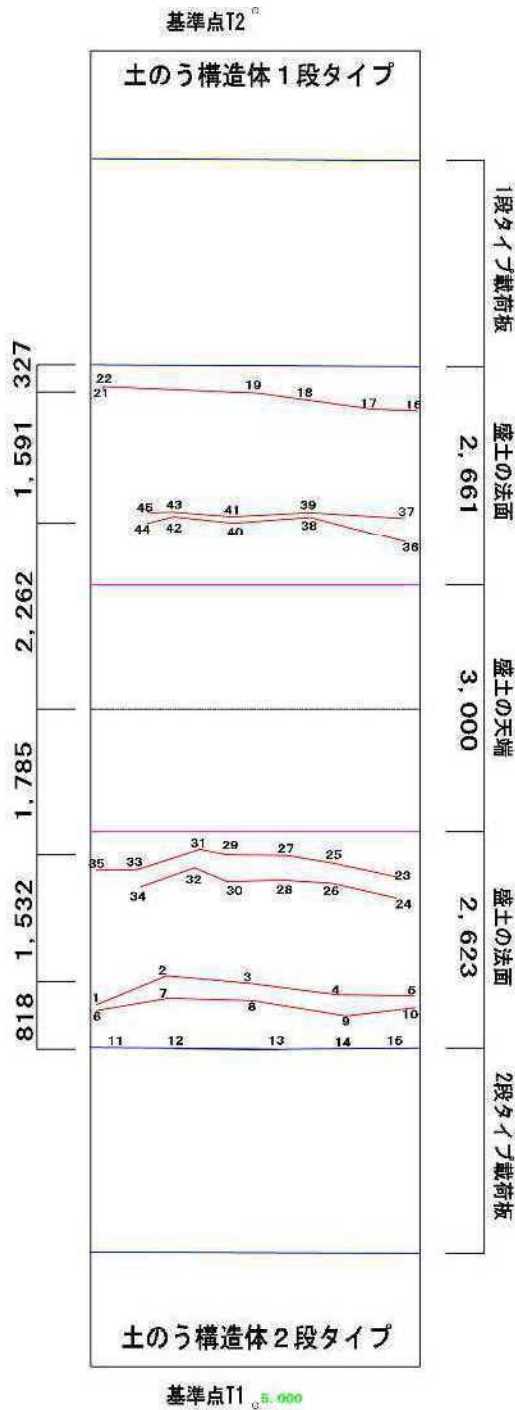


写真 5-9 1 段タイプ側法面の損傷状況



写真 5-10 2 段タイプ側法面の損傷状況

図 5-1 Total Station による法面の損傷調査

5.2.3 盛土内部のトレンチ掘削調査

盛土内部の損傷状況を確認するため、写真 5-11～写真 5-15 のように、バックホウを用いて天端から盛土内部へ幅 1.4m 程度のトレンチ掘削を実施し、側面から盛土内部のすべり面を調査した。

盛土の高さ 2.5m (2 番目のジオグリッド)、1.75m (3 番目のジオグリッド)、1.0m (4 番目のジオグリッド) でそれぞれトレンチ掘削を行った後、側面から盛土内部及びジオグリッドの様子を観察したものの、盛土内部においてのクラックや、すべり面推定用として敷設したひずみゲージ付きジオグリッドの大きな変形は確認できなかった。



写真 5-11 2 番目のジオグリッドの様子(1 段タイプ側)



写真 5-12 2 番目のジオグリッドの様子(拡大写真)(1 段タイプ側)



写真 5-13 2 番目のジオグリッドの様子(2 段タイプ側)



写真 5-14 2 番目のジオグリッドの様子(拡大写真)(2 段タイプ側)

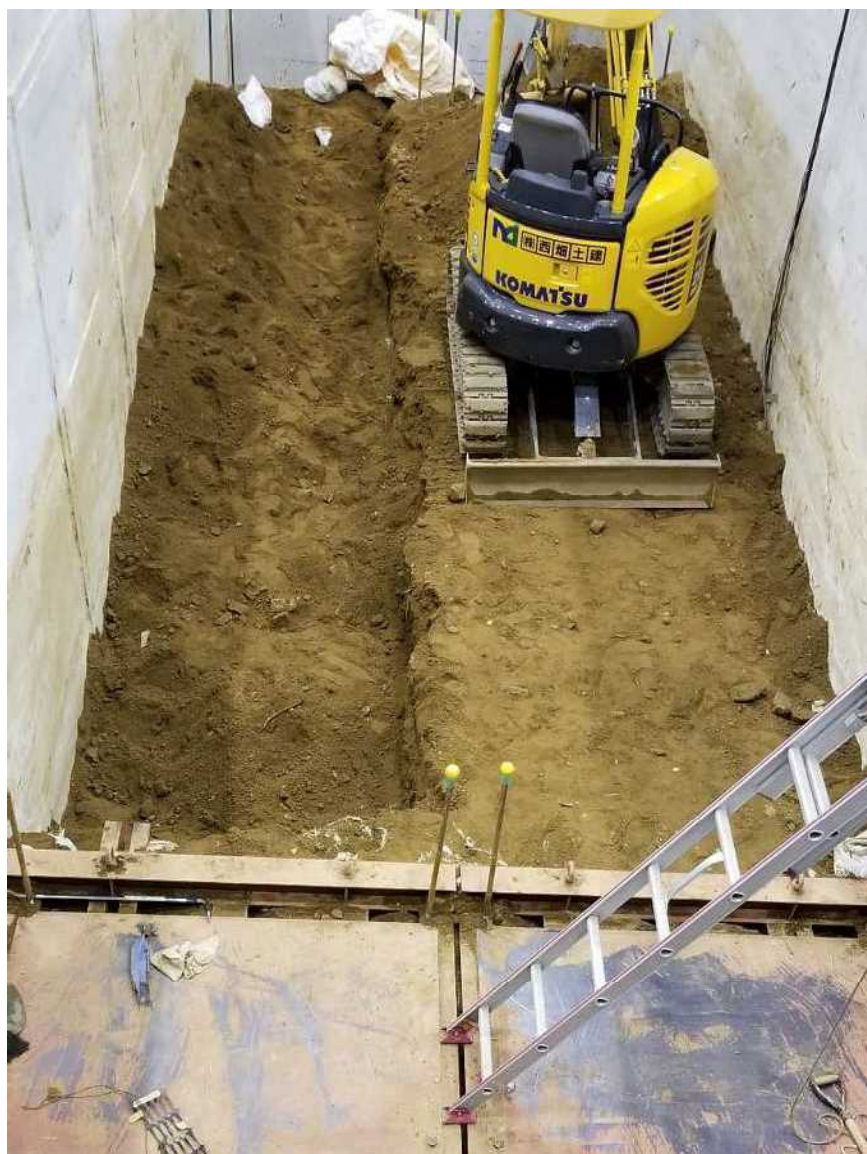


写真 5-15 トレンチ掘削の様子

5.3 破壊面の推定

本実験では、盛土の破壊面を推定するため、幅 10cm 程度のジオグリッドにひずみゲージを貼り付けて、盛土内部に敷設した（第 3 章の写真 3-15 参照）。ジオグリッドは加振時に盛土と同様に動くため、盛土崩壊時に、盛土内部における土の変形（または、ひずみ）が大きいたとこ、すなわち破壊面付近で、ジオグリッドに大きなひずみが発生する。このように計測したジオグリッドのひずみ値は、盛土のひずみ値ではない。図 5-2 に破壊面推定用のひずみゲージ付きジオグリッドの敷設位置を示す。両側の盛土において各 4 カ所（高さ 1.0m, 1.75m, 2.5m, 3.25m）に設置した。そこで、各高さで計測したひずみ値を比較して、相対的にひずみが大きく発生した位置をプロットして、破壊面を推定した。

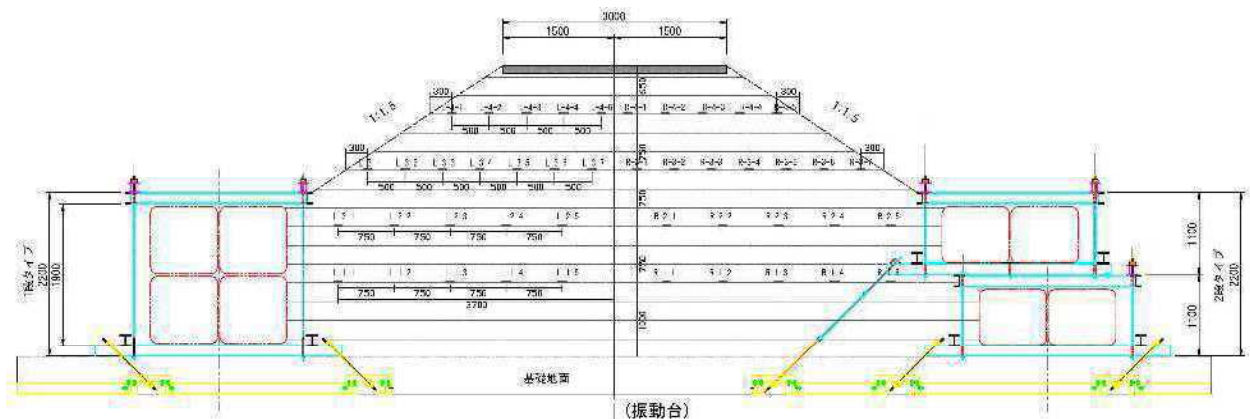


図 5-2 破壊面推定用のひずみゲージ付きジオグリッドの敷設位置

前述のように、加振条件 1（最大 125Gal 相当波）及び加振条件 2（最大 245Gal 相当波）においては、加振中に盛土の天端や両側法面にてクラックやすべり破壊は確認されなかった。図 5-3 に加振条件 2（最大 245Gal 相当波）における各計測位置の最大ひずみ値を示す。図 5-4 には、加振条件 2（最大 245Gal 相当波）において、各計測高さにて最大ひずみ値が発生した位置のひずみの時間歴を示す。加振条件 2 では、ひずみが集中して大きく発生する位置が確認されなかった。

次に加振中に盛土でクラックが発生した加振条件 3（最大 376Gal 相当波）及び加振条件 4（最大 660Gal 相当波）の結果について破壊面を推定した。図 5-5 と図 5-7 に、加振条件 3（最大 376Gal 相当波）及び加振条件 4（最大 660Gal 相当波）それぞれにおける各計測位置の最大ひずみ値を示して、Total Station を用いて測定したクラックの位置と比較した。図中の赤い部分は、各ジオグリッドにて最大ひずみが発生した位置を示し、オレンジ色の部分は、二番目に大きいひずみが発生した位置を示す。また、図 5-6 と図 5-8 には、加振条件 3（最大 376Gal 相当波）及び加振条件 4（最大 660Gal 相当波）それぞれにおいて、各ジオグリッドにて最大ひずみが発生した位置（図 5-5 と図 5-7 の赤い部分）のひずみの時間歴を示す。

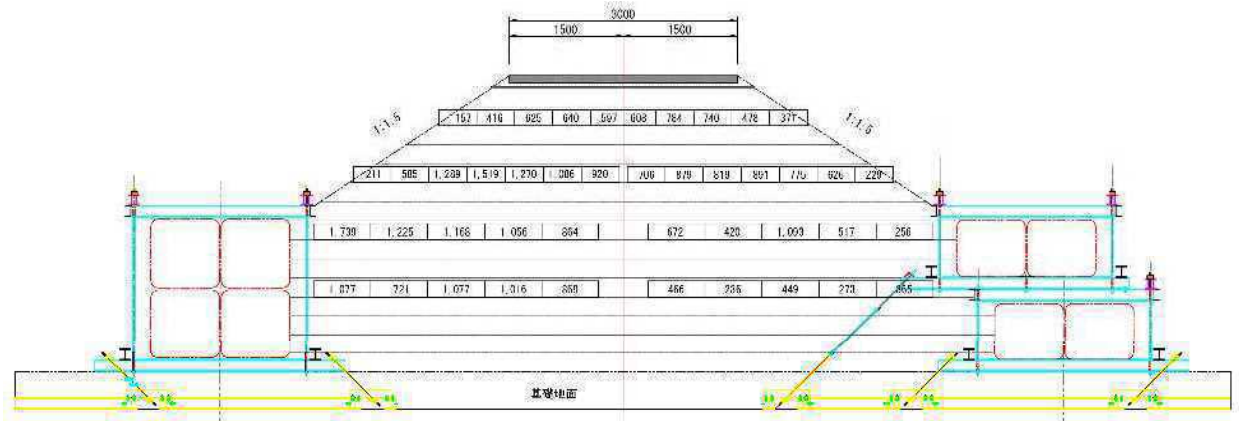
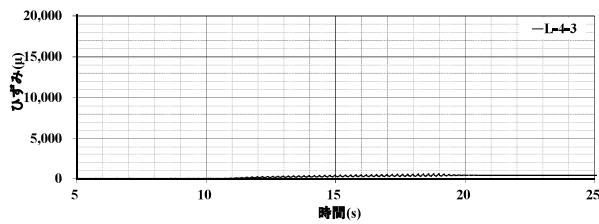
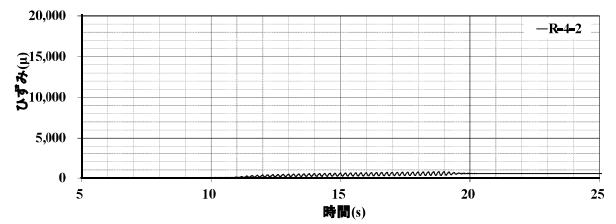


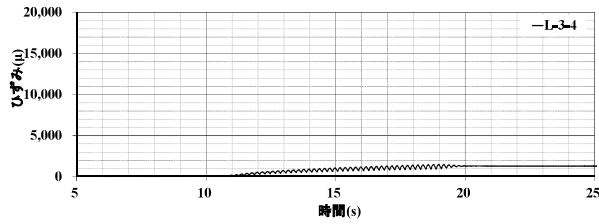
図 5-3 計測位置ごとの加振中の最大ひずみ値(加振条件 2, 最大 245Gal 相当波)



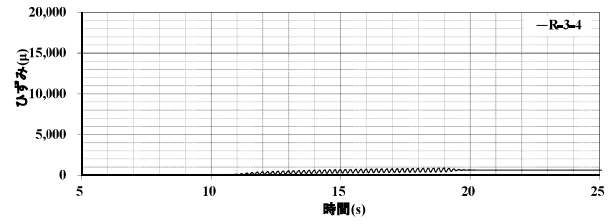
(1a) L-4-3 (H=3.25m)



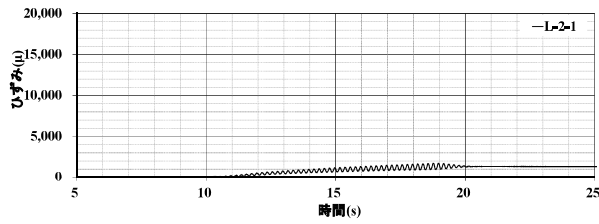
(2a) R-4-2 (H=3.25m)



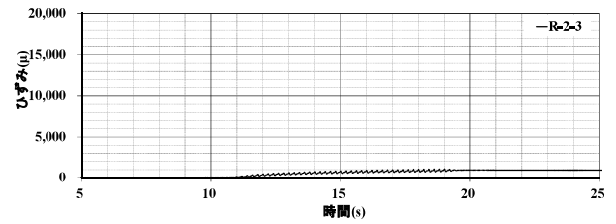
(1b) L-3-3 (H=2.50m)



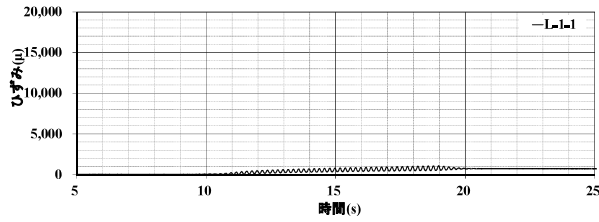
(2b) R-3-4 (H=2.50m)



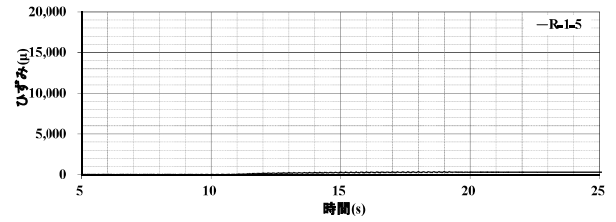
(1c) L-2-1 (H=1.75m)



(2c) R-2-3 (H=1.75m)



(1d) L-1-1 (H=1.00m)



(2d) R-1-5 (H=1.00m)

図 5-4 計測高さごとにおける最大ひずみが発生した位置のひずみの時間歴
(加振条件 2, 最大 245Gal 相当波)

加振条件3（最大376Gal相当波）においては、2段タイプの盛土に比べ、1段タイプの盛土のひずみが大きく発生しており、特に、1段タイプ土のう構造体の背面で、ひずみが大きく発生している（図5-5）。これは、加振条件3におけるクラックの発生様子（写真5-5）と、2段タイプに比べ1段タイプの土のう構造体の水平変位が大きく発生している結果（第4章の表4-4）と整合していると考えられる。一方、加振中におけるひずみ（図5-6）は、徐々に増加する傾向が見られ、破壊発生時点を推定することができなかった。

加振条件4においては、図5-7に示すように、2段タイプの盛土のひずみも増加して、大きく発生している。また、両側とも法面の下部（土のう構造体の背面付近）に発生したクラックは、天端から3,4番目ジオグリッド（ $H=1.0\text{m}$, $H=1.75\text{m}$ ）において、相対的にひずみが大きい部分がクラックとして法面に顕著に表れた可能性が高いと考えられる。

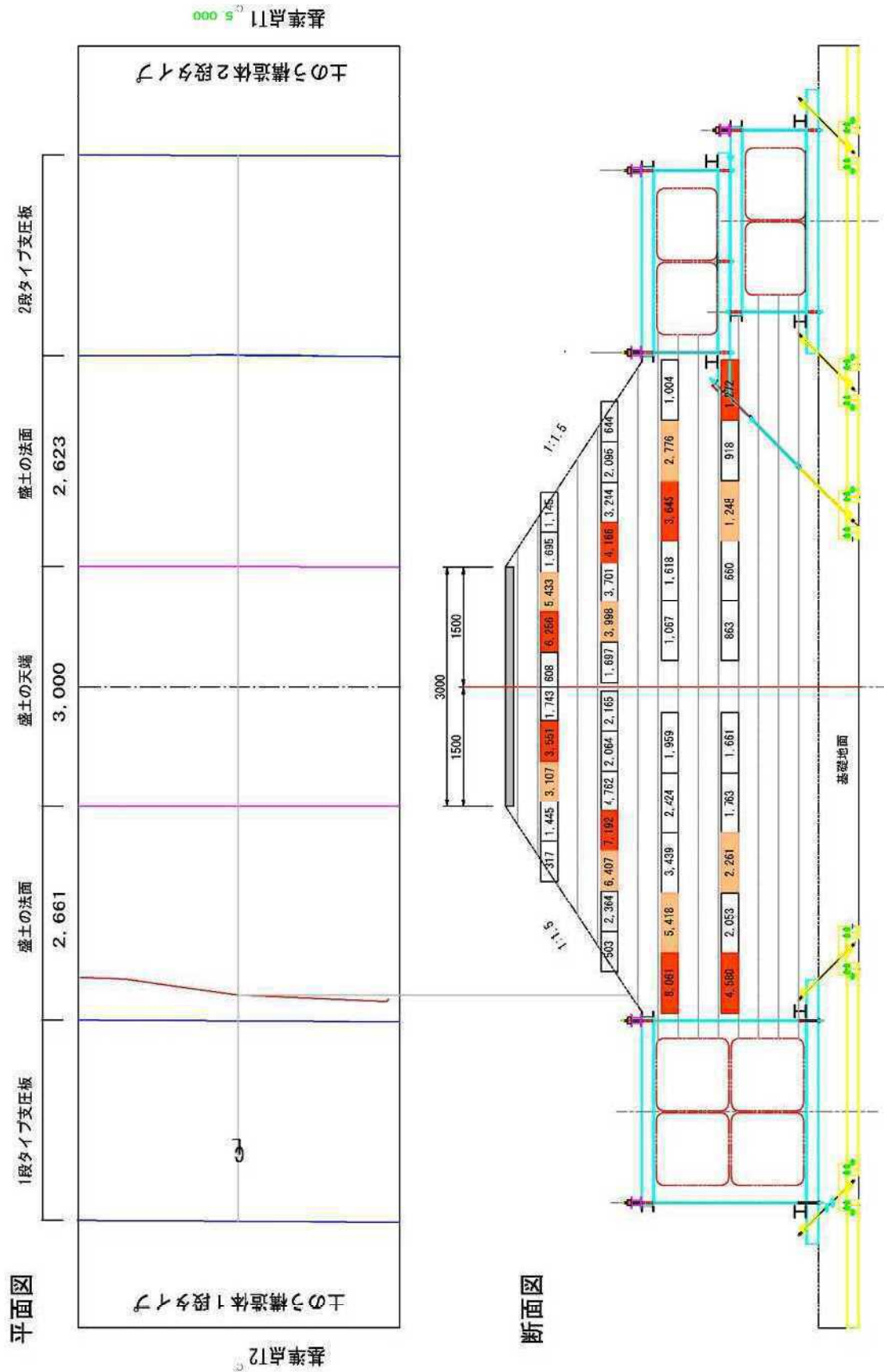
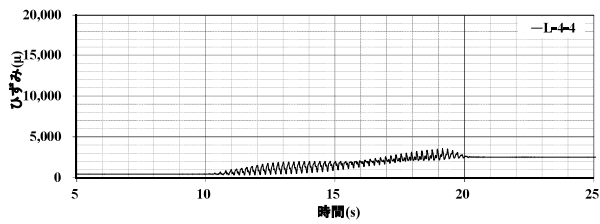
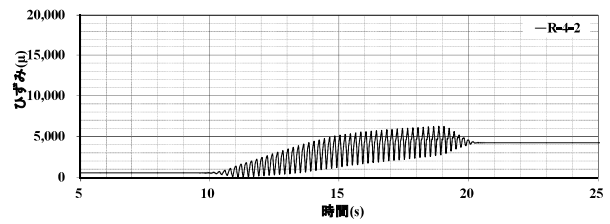


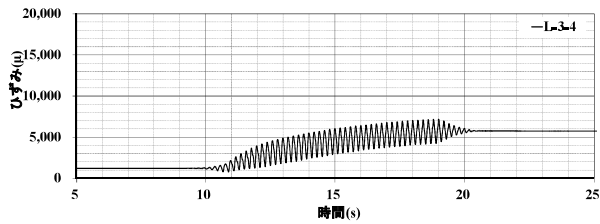
図 5-5 計測位置ごとの加振中の最大ひずみ値(加振条件3, 最大 376Gal 相当波)



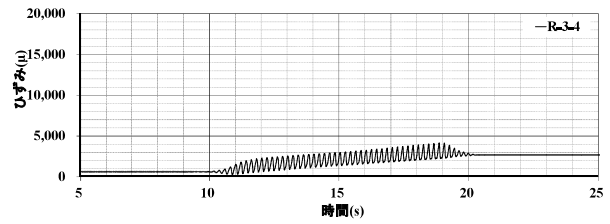
(1a) L-4-4 (H=3.25m)



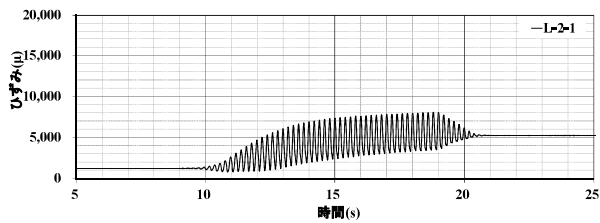
(2a) R-4-2 (H=3.25m)



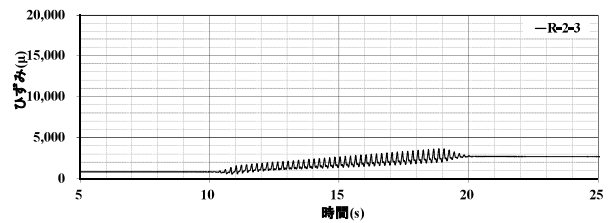
(1b) L-3-4 (H=2.50m)



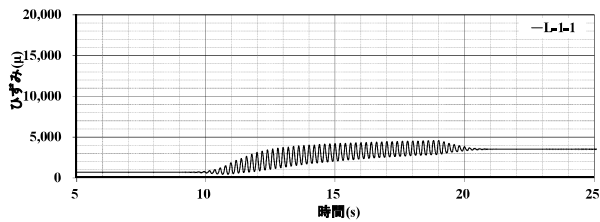
(2b) R-3-4 (H=2.50m)



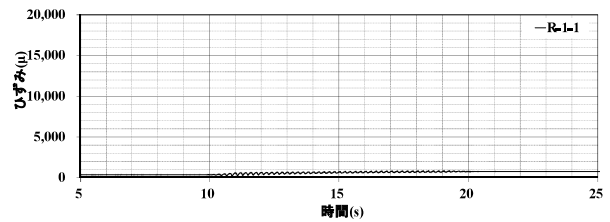
(1c) L-2-1 (H=1.75m)



(2c) R-2-3 (H=1.75m)



(1d) L-1-1 (H=1.00m)



(2d) R-1-4 (H=1.00m)

図 5-6 計測高さごとにおける最大ひずみが発生した位置のひずみの時間歴
(加振条件 3, 最大 376Gal 相当波)

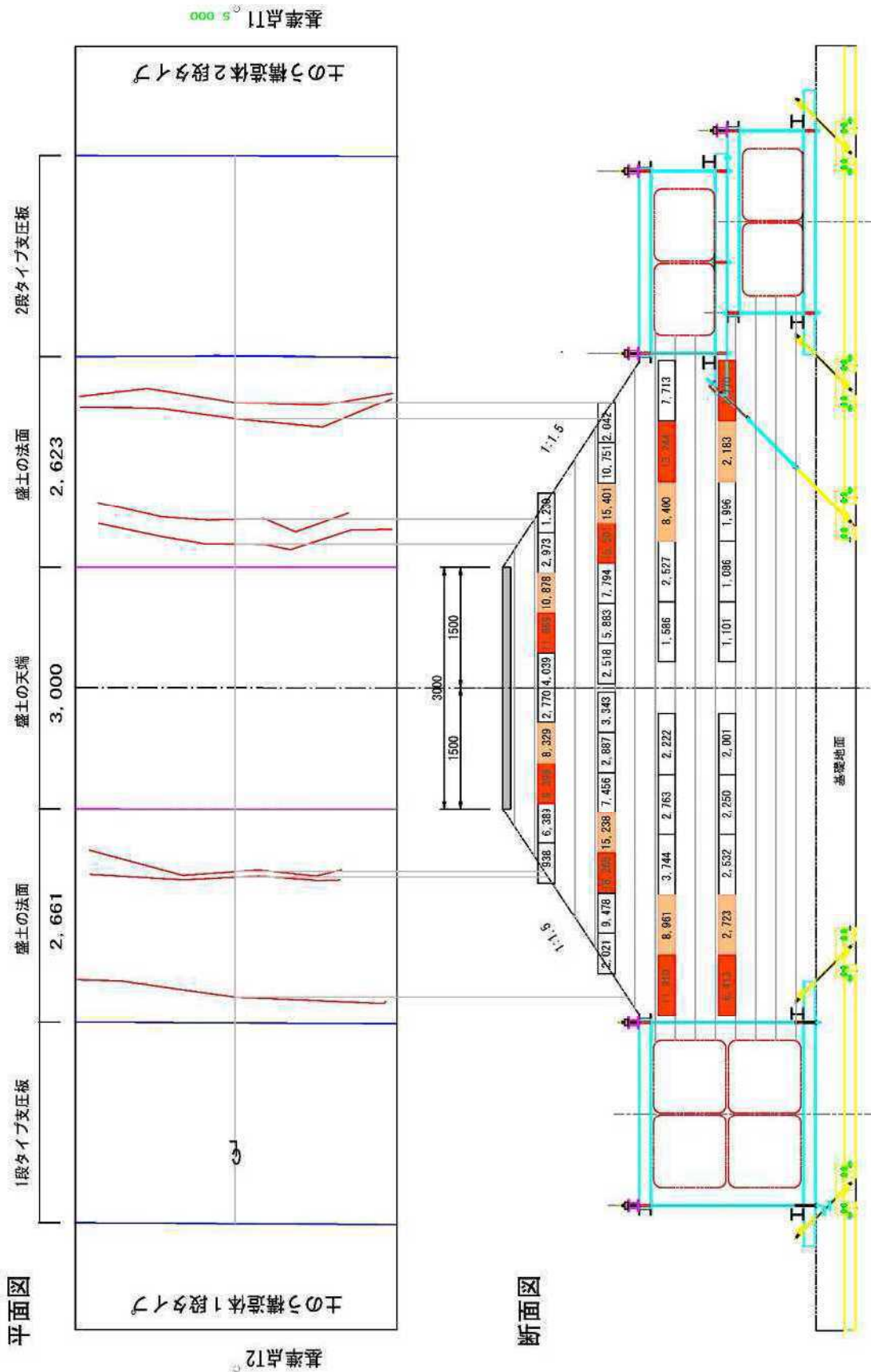
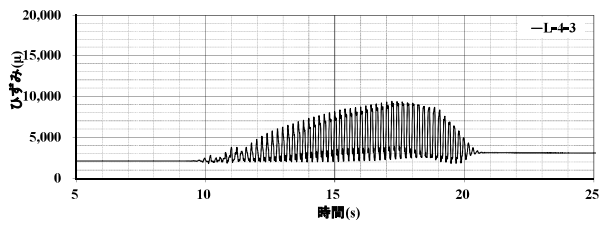
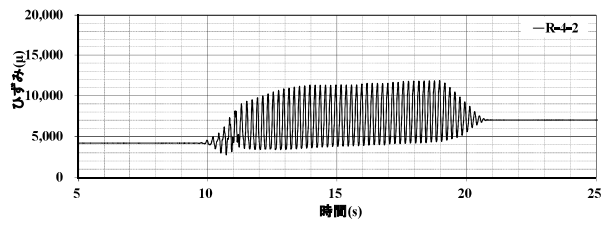


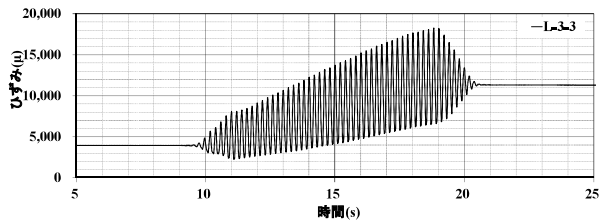
図 5-7 計測位置ごとの加振中の最大ひずみ値(加振条件 4, 最大 660Gal 相当波)



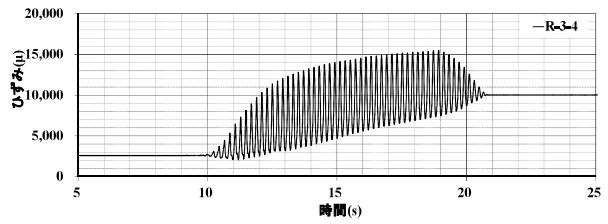
(1a) L-4-3 (H=3.25m)



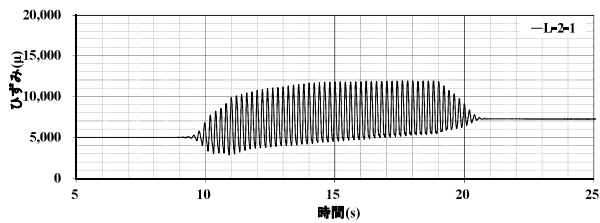
(2a) R-4-2 (H=3.25m)



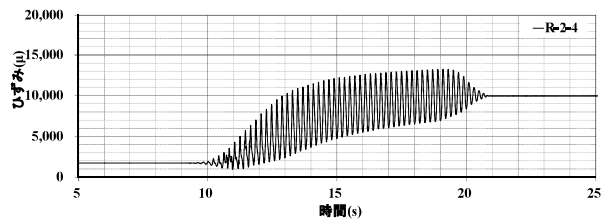
(1b) L-3-3 (H=2.50m)



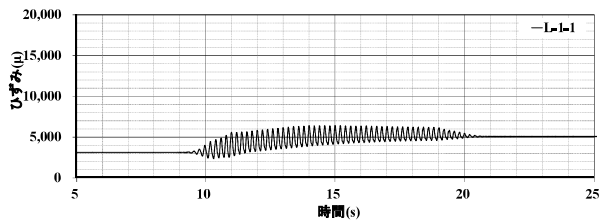
(2b) R-3-4 (H=2.50m)



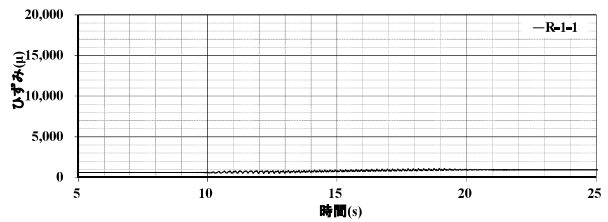
(1c) L-2-1 (H=1.75m)



(2c) R-2-4 (H=1.75m)



(1d) L-1-1 (H=1.00m)



(2d) R-1-5 (H=1.00m)

図 5-8 計測高さごとにおける最大ひずみが発生した位置のひずみの時間歴
(加振条件 4, 最大 660Gal 相当波)

第6章 まとめ

本共同研究では、土のう構造体を用いた既設盛土の復旧工法の実用化を目指して、大型土槽（内寸法：W16m×D4m×H4.5m）の中に高さ4mの実物大盛土を造成し、その法先に積層方法の異なる2つのタイプ（1段タイプ及び2段タイプ）の土のう構造体を設置し、国立研究開発法人防災科学技術研究所Eーディフェンスの震動台を用いて、地震時の挙動及び耐震性能を検証した。実験では、当該盛土試験体に各種計測機器を設置して加振時の挙動を観察すると共に、破壊形状を確認するための目視観察や掘削調査を行った。各加振条件において、得られた知見の概要を以下に述べる。

●加振条件1（最大125Gal相当波）では、盛土本体及び両側の土のう構造体（1段・2段タイプ）共に健全な状態であった。詳細は以下の通りである。

- ・盛土本体にクラック等の損傷は見られなかった。
- ・盛土の天端における応答加速度の増幅率は、おおよそ2倍であった。
- ・盛土本体と両側の土のう構造体（1段・2段タイプ）との応答加速度の振幅の差及び位相差は殆どなかった。
- ・盛土本体及び土のう構造体における加振後の残留変形は極微小であった。
- ・土のう構造体のプレストレスの減少率は、両タイプ共に1%以下であった。
- ・土のう構造体の形式による加振時の挙動特性はほぼ同じであった。

●加振条件2（最大245Gal相当波）においても、盛土本体及び両側の土のう構造体（1段・2段タイプ）共に健全な状態であった。詳細は以下の通りである。

- ・盛土本体にクラック等の損傷は見られなかった。
- ・盛土の天端における応答加速度の増幅率は、おおよそ2.5倍であった。
- ・盛土本体と土のう構造体における応答加速度は、1段タイプの方が2段タイプより若干大きいものの、応答加速度の位相差は殆どなかった。
- ・盛土の天端において、3.2～4.7mmの残留沈下が発生した。
- ・法肩部における水平変位は、1段タイプ側の方が2段タイプ側よりも若干大きかった（水平変位の最大値1.4mm程度）。
- ・土のう構造体における残留変形は、1段タイプの方が2段タイプより大きかった。これは、応答加速度の傾向と整合している。
- ・同様に、1段タイプでのプレストレス減少率（最大29.14%程度）の方が、2段タイプのプレストレス減少率（下部12%程度、上部3%程度）より大きかった。

●加振条件3 (最大 376Gal 相当波)においては、1 段タイプの土のう構造体に変形が生じたためにプレストレスが大きく減少し、盛土下部でクラックが発生した。また、法肩部が少し崩れたが、大規模な破壊には至らなかった。一方、2 段タイプの土のう構造体の変形は小さく、プレストレスの減少率も僅かであり、ほぼ健全な状態であった。振動により盛土の法肩部が少し崩れたものの、クラック等の損傷は見られなかった。詳細は以下の通りである。

- ・1 段タイプ側の法面の下部にクラックが発生したものの、2 段タイプ側の法面にはクラックは確認できなかった。また、両側の法肩部が小規模に崩れていることを確認した。
- ・盛土中天端における応答加速度の増幅率は、3 倍を超えていた。
- ・盛土の上部における応答加速度は、1 段タイプ側の方が 2 段タイプ側より大きかった。
- ・土のう構造体における応答加速度は、1 段タイプの方が 2 段タイプより大きかった。
- ・同様に、土のう構造体における残留変形も 1 段タイプの方が 2 段タイプより大きかった。
- ・特に、水平変位は、1 段タイプの場合、上部支圧板で最大 17.4mm の比較的大きい水平変形（2 段タイプは最大 4.7mm 程度）が発生し、せん断による変形が生じた。
- ・1 段タイプの土のう構造体のプレストレスは、加振に伴いほとんど抜けて、プレストレス減少率は 78.41%であった。一方、2 段タイプのプレストレスの減少率は、上部は 37.42%程度、上部は 10%程度であり、ある程度のプレストレスを保持していることが分かった。

●加振条件4 (最大 660Gal 相当波)では、両側の土のう構造体（1 段・2 段タイプ）のプレストレスがほとんど抜けて、盛土では法面の上下部にクラックが発生したが、大規模なすべり破壊には至らなかった。また、盛土天端のアスファルト舗装部においてもクラック等の損傷がなく、健全な状態であった。詳細は以下の通りである。

- ・両側（1 段・2 段タイプ）共に法面の上下部にクラックが発生していることが確認できた。
- ・盛土中央部部の応答加速度の増幅率は、天端で 3 倍以上であった。
- ・加振時の途中で、2 段タイプの土のう構造体における応答加速度が急激に増加した。
- ・盛土の上部での応答加速度は、1 段タイプ側の方が 2 段タイプ側よりも大きかった。
- ・両側（1 段・2 段タイプ）の土のう構造体のプレストレスは、ほとんどゼロとなった。

上記の結果から、1 段・2 段タイプ共にとも最大 245Gal 相当の加振条件まで、盛土がほぼ健全な状態であり、土のう構造体も機能を保持していることが確認できた。さらに、最大 376Gal 相当波の加振時においても、法肩付近が少し崩れた程度であり、道路機能に甚大な影響を与えるものではなかった。耐震性能の観点では、2 段タイプの方が 1 段タイプに比べて僅かに優れているが、将来、実現場へ適用するためには、盛土の形状・寸法、施工性及び経済性などを含めて、総合的な適正を評価して選定する必要がある。今後、本復旧工法を実現場へ適用するためには、今回の実験結果を踏まえて、さらに詳細な設計手法ならびに施工法を確立する必要がある。