

## 第4章 実物大震動台実験結果

土のう構造体を用いて復旧した盛土の動的挙動を検討するため、各加振条件において加振時に測定した時間歴データを整理した。全時間歴データは巻末付録を参照されたい。本章では、これらのデータに基づき、加振時の盛土及び土のう構造体の加速度応答特性や変形、土のう構造体のプレストレスの変化、基盤部アンカー軸力に関して考察を行った。

### 4.1 加速度応答

加振時の盛土の加速度応答特性を検討するために、盛土及び土のうにおける各計測位置の応答加速度時間歴データを確認し（巻末付録参照）、最大応答加速度に着目して、応答加速度の増幅率を検討した。ここで、増幅率は、式 4-1 により算定した。

$$\text{増幅率} = \text{応答加速度の最大値} / \text{入力加速度の最大値} \quad \text{式 4-1}$$

一方、本実験断面は、盛土の両側が1段タイプ土のう構造体及び2段タイプ土のう構造体それぞれが設置されているため、両方向の入力加速度及び応答加速度に対して、増幅率を算定した。例えば、(+)方向については、(+)方向の入力加速度の最大値と応答加速度の最大値を用いて増幅率を計算した。

#### 4.1.1 盛土部の加速度応答特性

##### (1) 盛土中央部の応答加速度及び増幅

盛土中央部における応答加速度及び増幅率について検討した。更に、震動方向に対する応答加速度及び増幅率についても検討を行った。ここで、(+)方向は1段タイプ方向、(-)方向は2段タイプ方向である。

図 4-1 に盛土中央部における加速度計測位置を、図 4-2 と表 4-1 に応答加速度及び増幅率をそれぞれ示す。図 4-2 と表 4-1 から分かるように、基盤から天端の方に行くほど応答加速度の増幅が大きくなる傾向が見られる。また、加振加速度が大きくなるほど応答加速度の増幅も増加する傾向であるものの、加振条件 4（最大 660Gal 相当波）の場合は、加振条件 3（最大 376Gal 相当波）より増幅率が減少していることが分かる。これは、盛土の非線形挙動に起因するものと推察される。

加振条件 1（最大 125Gal 相当波）と加振条件 2（最大 245Gal 相当波）における「(+)方向（1段タイプ方向）」及び「(-)方向（2段タイプ方向）」の応答加速度の増幅率はほぼ等しい。一方で、加振条件 3（最大 376Gal 相当波）と加振条件 4（最大 660Gal 相当波）の場合は、盛土の天端で「(+)方向

(1段タイプ方向)」の応答加速度の増幅率が「(-)方向(2段タイプ方向)」より大きい。

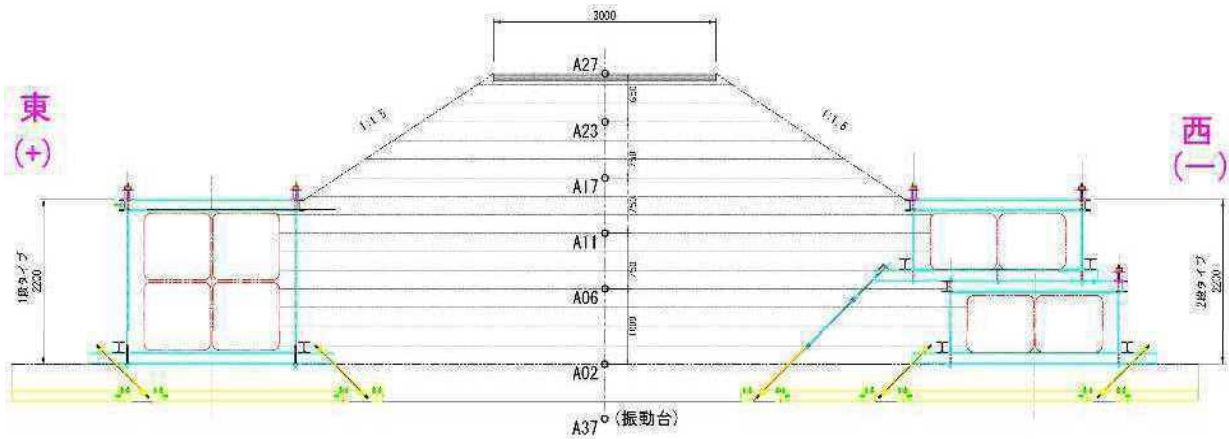
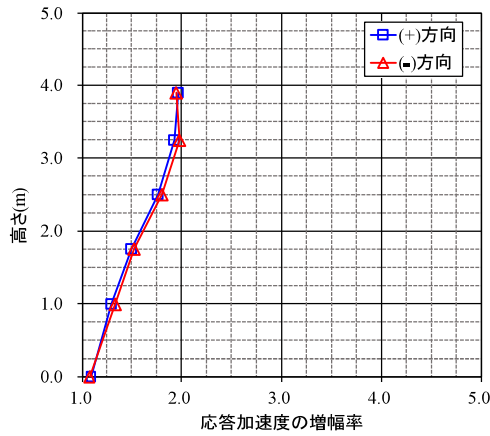
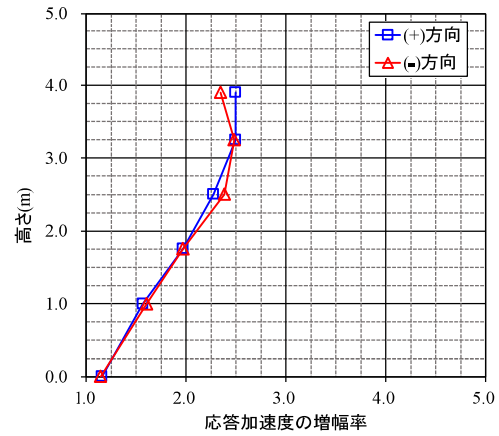


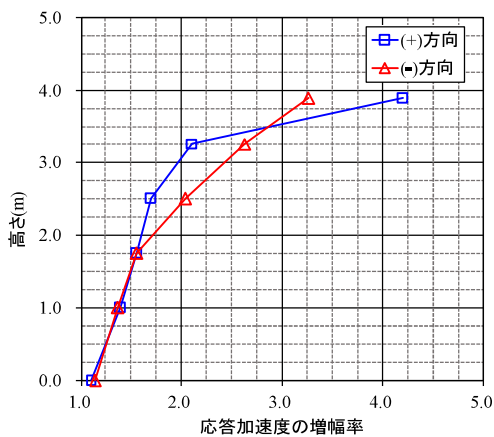
図 4-1 盛土中央部の加速度計測位置



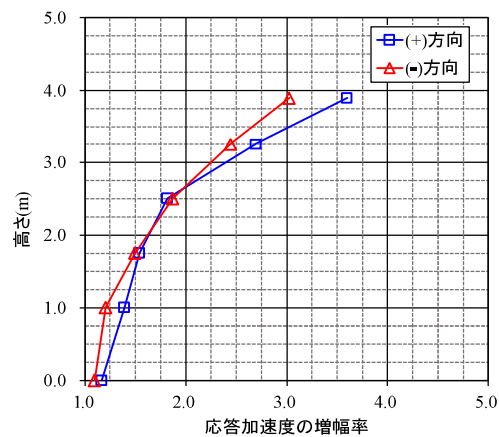
(a) 加振条件 1(最大 125Gal 相当波)



(b) 加振条件 2(最大 245Gal 相当波)



(c) 加振条件 3(最大 376Gal 相当波)



(d) 加振条件 4(最大 660Gal 相当波)

図 4-2 盛土中央部の応答加速度の増幅率  
(※ (+)方向:1 段タイプ方向, (-)方向:2 段タイプ方向)

表 4-1 盛土中央部の応答加速度及び増幅率

区分	加振条件 1 (最大 125Gal 相当波)				加振条件 2 (最大 245Gal 相当波)			
	最大応答加速度 (m/s <sup>2</sup> )		増幅率		最大応答加速度 (m/s <sup>2</sup> )		増幅率	
基盤からの高さ	(+)方向	(+)方向	(-)方向	(+)方向	(-)方向	(-)方向	(+)方向	(-)方向
3.90m (天端)	2.43	-2.44	1.97	1.95	5.56	-5.26	2.49	2.34
3.25m	2.38	-2.48	1.93	1.98	5.57	-5.57	2.50	2.48
2.50m	2.18	-2.26	1.76	1.81	5.08	-5.35	2.28	2.38
1.75m	1.85	-1.91	1.50	1.52	4.40	-4.41	1.97	1.97
1.00m	1.60	-1.67	1.30	1.34	3.49	-3.60	1.56	1.60
0.00m (基盤)	1.35	-1.34	1.09	1.07	2.59	-2.56	1.16	1.14
震動台	1.23	-1.25	1.00	1.00	2.23	-2.24	1.00	1.00
区分	加振条件 3 (最大 376Gal 相当波)				加振条件 4 (最大 660Gal 相当波)			
	最大応答加速度 (m/s <sup>2</sup> )		増幅率		最大応答加速度 (m/s <sup>2</sup> )		増幅率	
基盤からの高さ	(+)方向	(+)方向	(-)方向	(+)方向	(-)方向	(-)方向	(+)方向	(-)方向
3.90m (天端)	15.79	-11.89	4.20	3.26	23.63	-19.97	3.60	3.03
3.25m	7.93	-9.58	2.11	2.63	17.68	-16.11	2.70	2.44
2.50m	6.40	-7.45	1.70	2.05	11.91	-12.34	1.82	1.87
1.75m	5.87	-5.68	1.56	1.56	10.10	-9.88	1.54	1.50
1.00m	5.26	-5.00	1.40	1.37	9.11	-7.94	1.39	1.20
0.00m (基盤)	4.17	-4.18	1.11	1.15	7.64	-7.21	1.16	1.09
震動台	3.76	-3.64	1.00	1.00	6.56	-6.60	1.00	1.00

## (2) 1段・2段タイプ側における盛土の応答加速度

1段・2段タイプ側における盛土の応答加速度を検討した。盛土の応答加速度の検討には、法肩に設置した加速度計を用いた(図4-3)。図4-4～図4-7には、加振条件1～4において、各計測位置における応答加速度の時間歴を示す。加振条件1(最大125Gal相当波)では、両側盛土の応答加速度の振幅はほぼ等しい。加振条件2(最大245Gal相当波)では、1段タイプ側の盛土の応答加速度が2段タイプ側より若干大きかった。一方で、加振条件3(最大376Gal相当波)では、高さ2.5m(A17, A18)及び3.25m(A22, A24)において、2段タイプ側の盛土の応答加速度が1段タイプ側より大きいこと、また、(-)方向の応答加速度が(+)方向より大きいことが分かる。これは、盛土中央部の傾向(図4-2(c))と同様である。

また、加振条件4(最大660Gal相当波)の場合、高さ2.5mでの2段タイプ側の盛土の応答加速度は大きい、高さ3.25mでの応答加速度の方がより大きく発生している。これは盛土中央部の傾向(図4-2(d))と同様な傾向である。ちなみに、加振条件3,4において、高さ3.9mの法肩部(A26, A28)では、計測データに、盛土が崩れた影響が表れている(図4-6(a), 図4-7(a))。

両側の盛土は、すべての加振、位置において同じ方向の応答加速度が発生し、位相差は見られなかった。

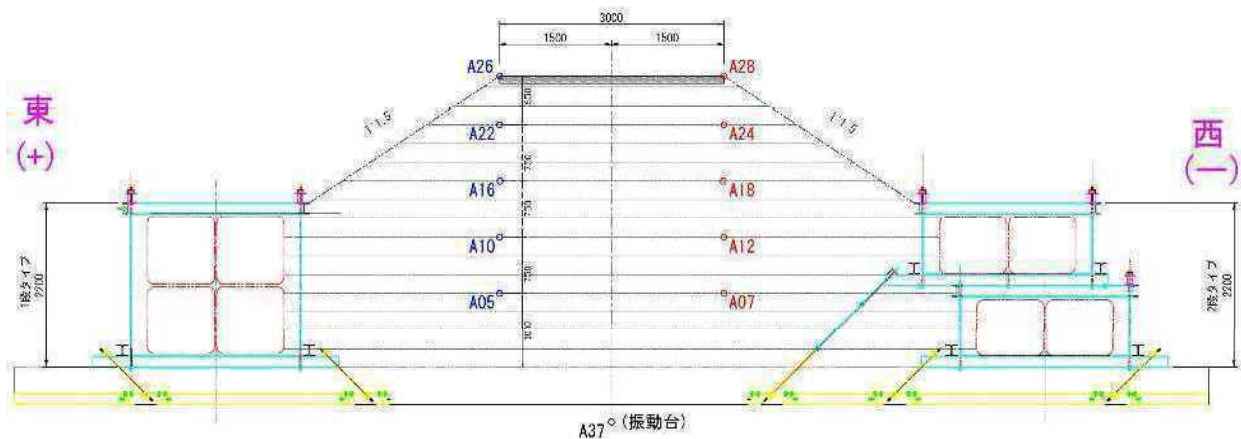
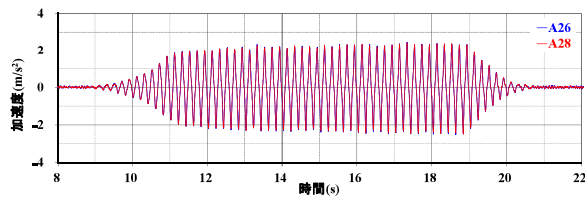
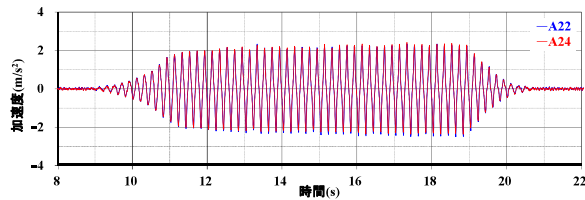


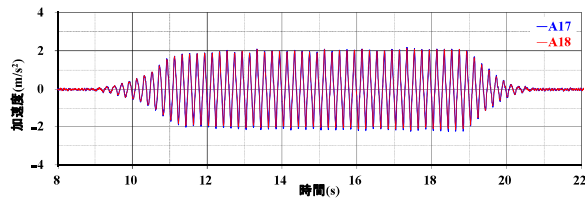
図4-3 1段タイプ側及び2段タイプ側における盛土の応答加速度の検討位置



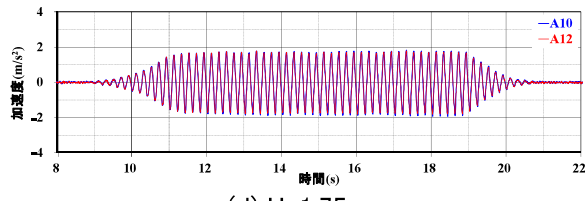
(a) H=3.9m



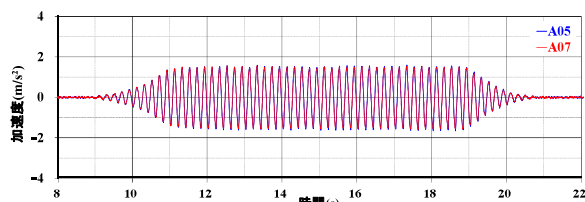
(b) H=3.25m



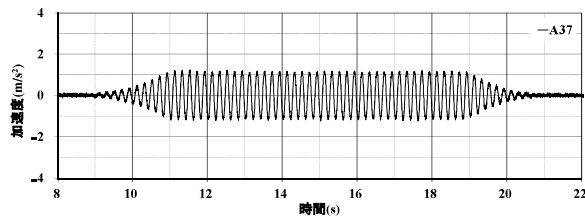
(c) H=2.5m



(d) H=1.75m

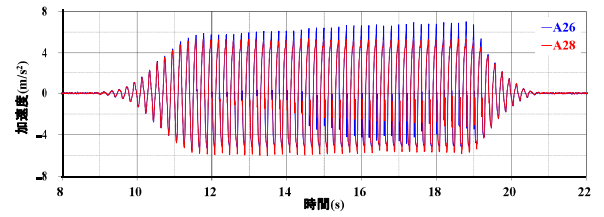


(e) H=1.0m

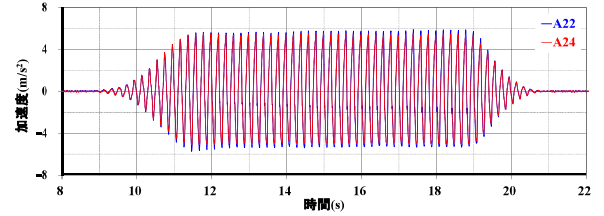


(f) 入力波(震動台)

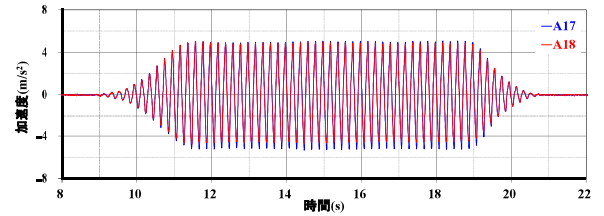
図 4-4 加振条件 1(最大 125Gal 相当波)の  
応答加速度の時間歴



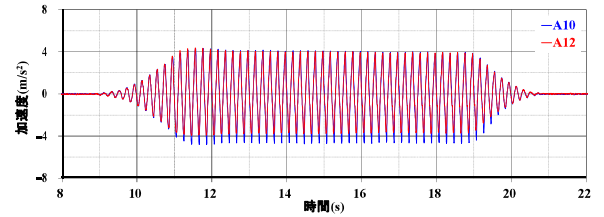
(a) H=3.9m



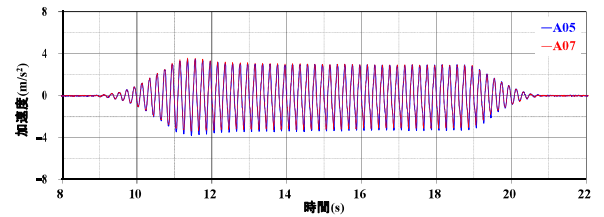
(b) H=3.25m



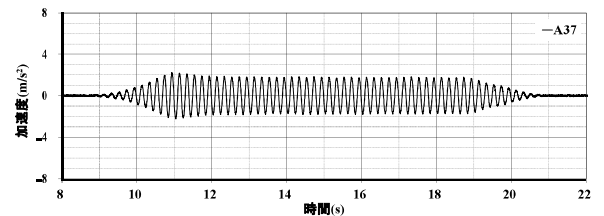
(c) H=2.5m



(d) H=1.75m

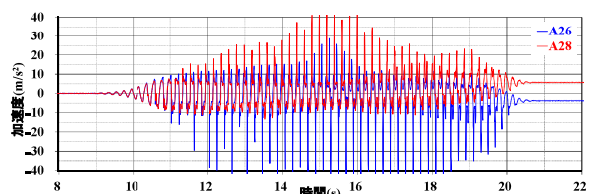


(e) H=1.0m

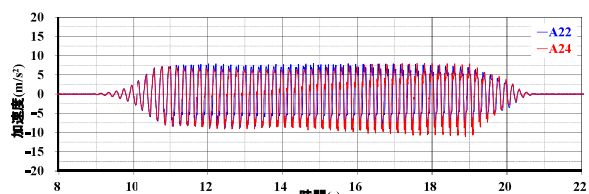


(f) 入力波(震動台)

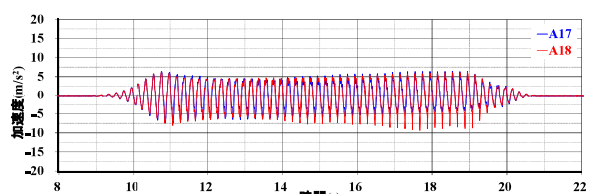
図 4-5 加振条件 2(最大 245Gal 相当波)の  
応答加速度の時間歴



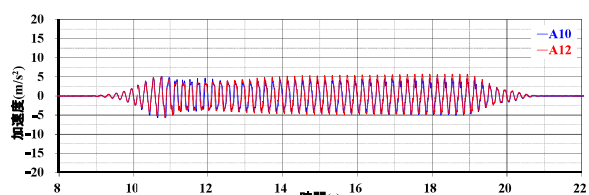
(a) H=3.9m



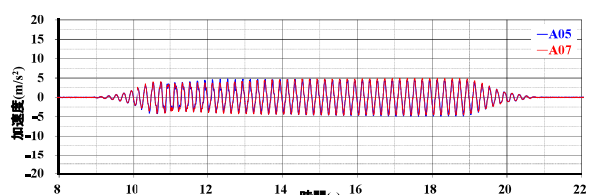
(b) H=3.25m



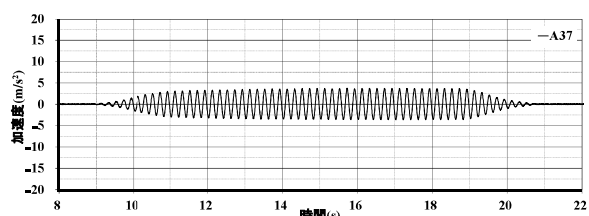
(c) H=2.5m



(d) H=1.75m

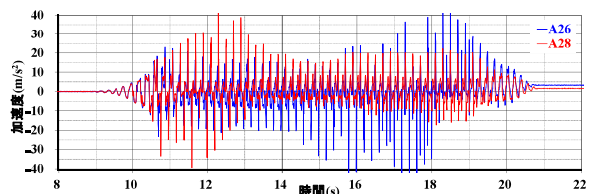


(e) H=1.0m

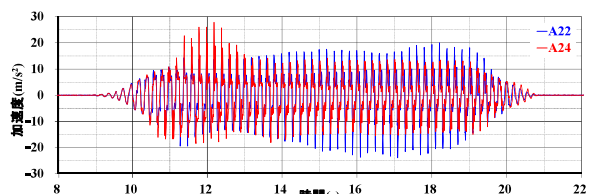


(f) 入力波(震動台)

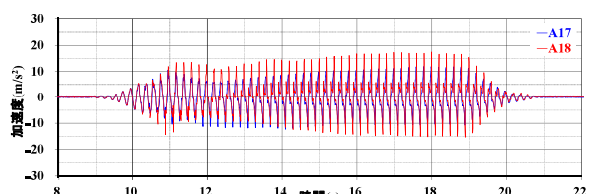
図 4-6 加振条件 3(最大 376Gal 相当波)の  
応答加速度の時間歴



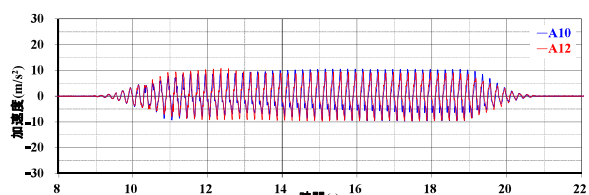
(a) H=3.9m



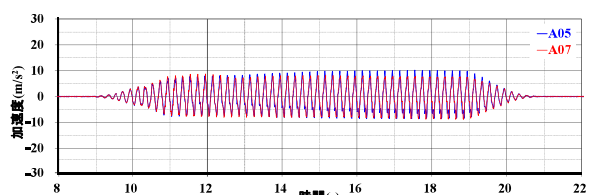
(b) H=3.25m



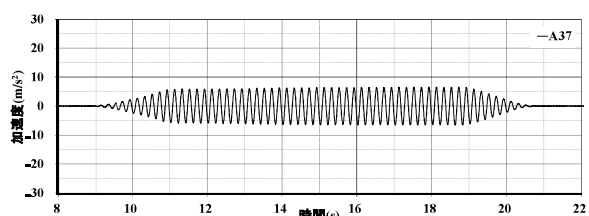
(c) H=2.5m



(d) H=1.75m



(e) H=1.0m



(f) 入力波(震動台)

図 4-7 加振条件 4(最大 660Gal 相当波)の  
応答加速度の時間歴

#### 4.1.2 土のう構造体の加速度応答特性

図 4-8 は、土のう構造体の加速度計測位置図であり、土のう構造体（外・内側土のう）の応答加速度の増幅率を図 4-9 と図 4-10 に示す。

加振条件 1～4 における土のう構造体の加速度応答特性について以下に述べる。

① 加振条件 1（最大 125Gal 相当波）

- ・ (+)(-)方向に関わらず同程度の増幅率を示している。
- ・ 盛土の増幅率とほぼ等しい。
- ・ 外側土のうと内側土のうの増幅率の差はほとんどない。

② 加振条件 2（最大 245Gal 相当波）

- ・ 1 段タイプ土のうの増幅率が 2 段タイプより大きい（盛土の増幅率よりも若干大きい）。
- ・ 外側土のうと内側土のうの増幅率の差はほとんどない。

③ 加振条件 3（最大 376Gal 相当波）

- ・ 1 段タイプ土のうの増幅率が 2 段タイプより大きい。
- ・ とりわけ、(-)方向の増幅率が(+方向より大きい。
- ・ 外側土のうと内側土のうの増幅率の差は大きくない。

④ 加振条件 4（最大 660Gal 相当波）

- ・ 2 段タイプ土のうの増幅率も増加している。

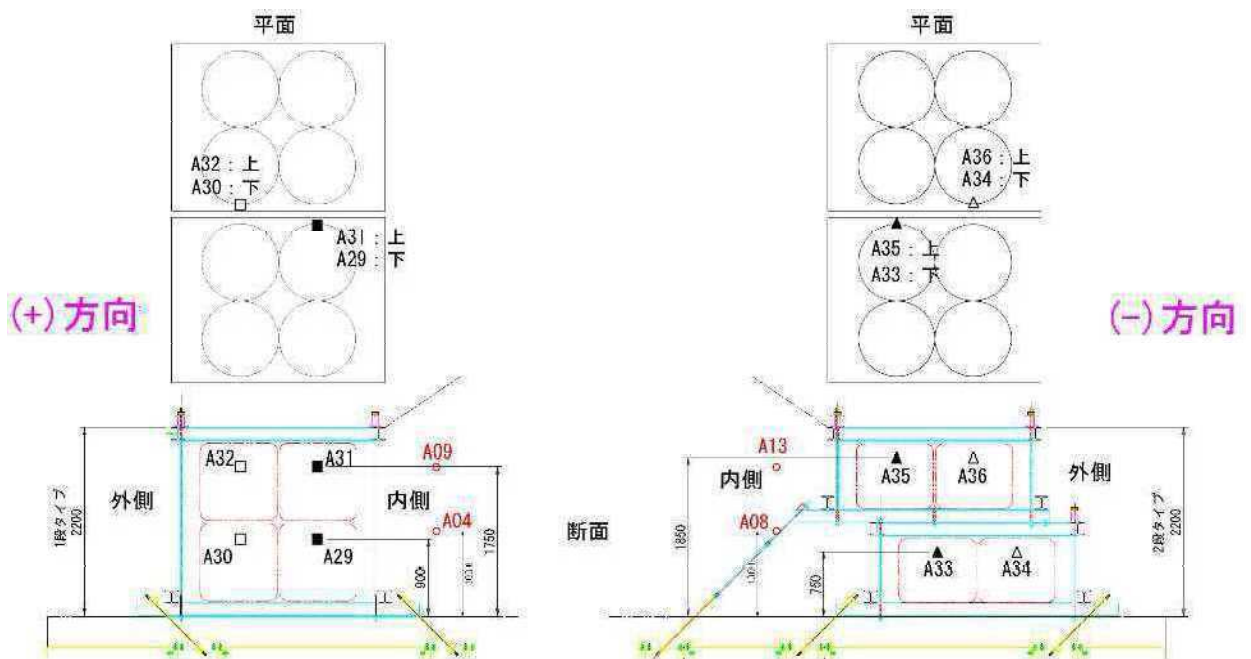
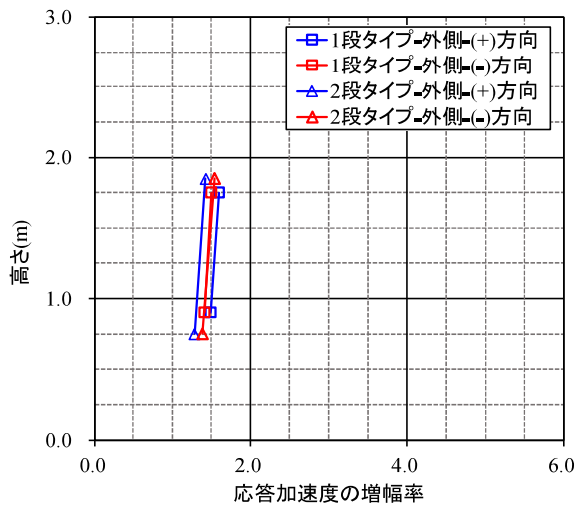
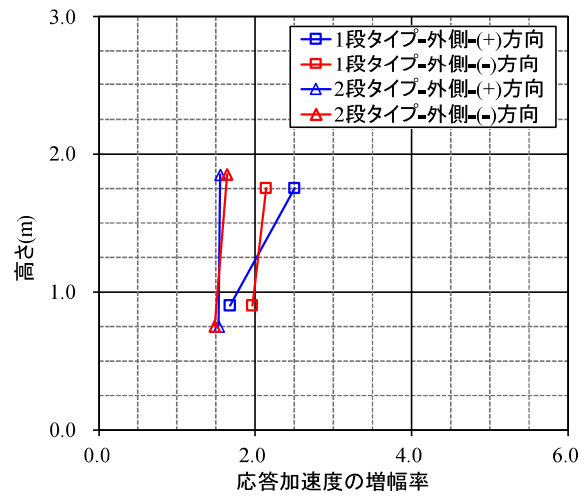


図 4-8 土のう構造体の加速度計測位置

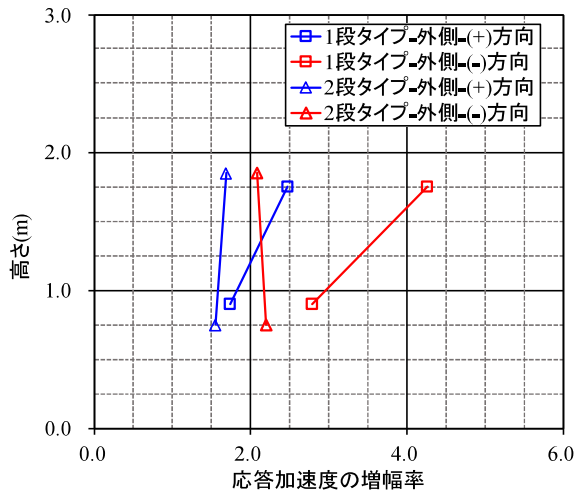




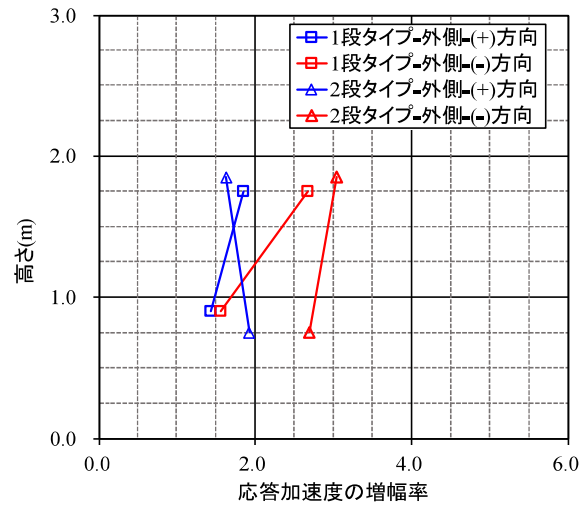
(a) 加振条件 1(最大 125Gal 相当波)



(b) 加振条件 2(最大 245Gal 相当波)



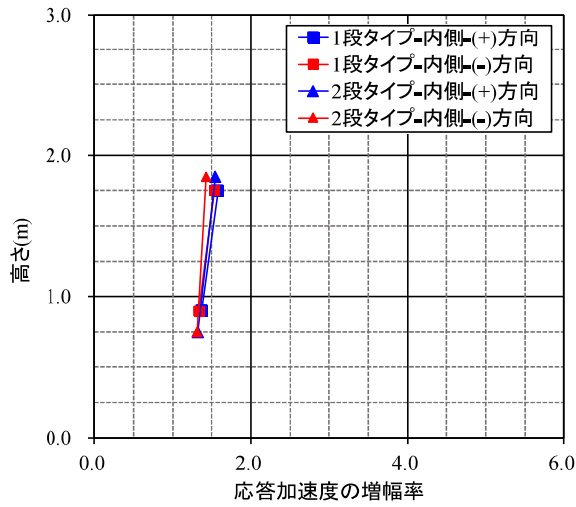
(c) 加振条件 3(最大 376Gal 相当波)



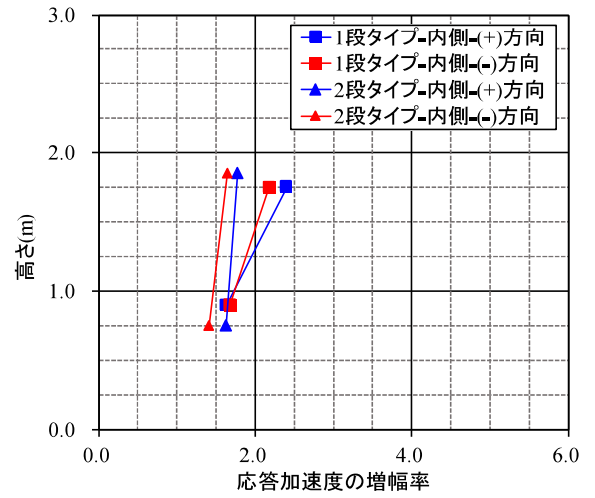
(d) 加振条件 4(最大 660Gal 相当波)

図 4-9 土のう構造体(外側土のう)の応答加速度の増幅率  
(※ (+)方向:1 段タイプ方向, (-)方向:2 段タイプ方向)

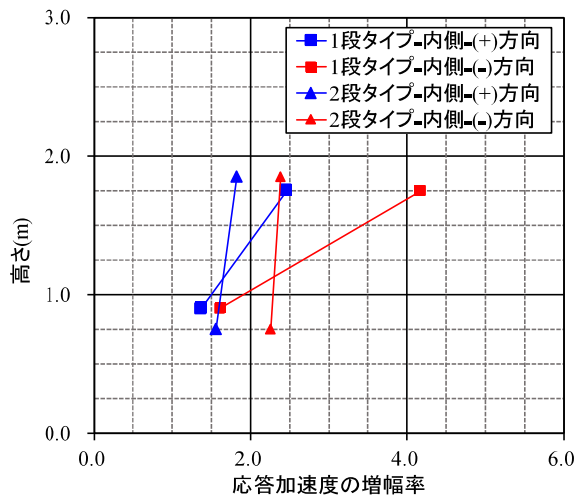




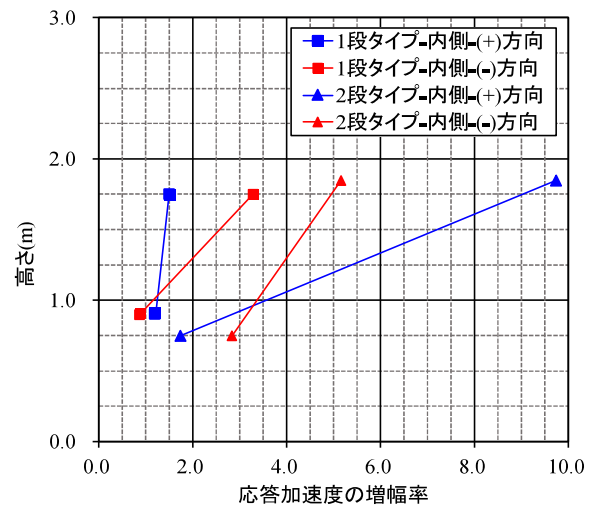
(a) 加振条件 1(最大 125Gal 相当波)



(b) 加振条件 2(最大 245Gal 相当波)



(c) 加振条件 3(最大 376Gal 相当波)



(d) 加振条件 4(最大 660Gal 相当波)

図 4-10 土のう構造体(内側土のう)の応答加速度の増幅率  
(※ (+)方向:1 段タイプ方向, (-)方向:2 段タイプ方向)

## 4.2 盛土及び土のう構造体の変形

### 4.2.1 盛土天端の変形

図 4-11 に盛土天端における変位計測位置図を示す。盛土天端の鉛直変位は、6 箇所を測定しており、盛土の法肩部で 4 箇所の水平変位を測定した。ここで、Z06 と Z05 は、アスファルト舗装の上にターゲットを設置し、他の箇所は、盛土の法肩部にターゲットを設置して釘により固定した。以下にその測定結果に関する考察を行う。

#### (1) 盛土の天端の沈下

表 4-2 に 1 段・2 段タイプ側の法肩部と盛土中央部での天端の残留沈下量をまとめている。加振条件 1（最大 125Gal 相当波）における盛土天端は、1mm 以下の微小な沈下が発生したが、加振条件 2（最大 245Gal 相当波）の場合は、3.2～4.7mm の天端沈下が発生した。ちなみに、加振条件 3（最大 376Gal 相当波）及び加振条件 4（最大 660Gal 相当波）では、加振に伴う法肩部の大きな変形により、測定用ターゲットが倒れてしまい、法肩部の沈下量を測定することができなかった。

図 4-12 に加振条件 2（最大 245Gal 相当波）における天端の鉛直沈下量を示す。2 段タイプ側より 1 段タイプ側の天端での沈下量が若干大きいことが分かる。

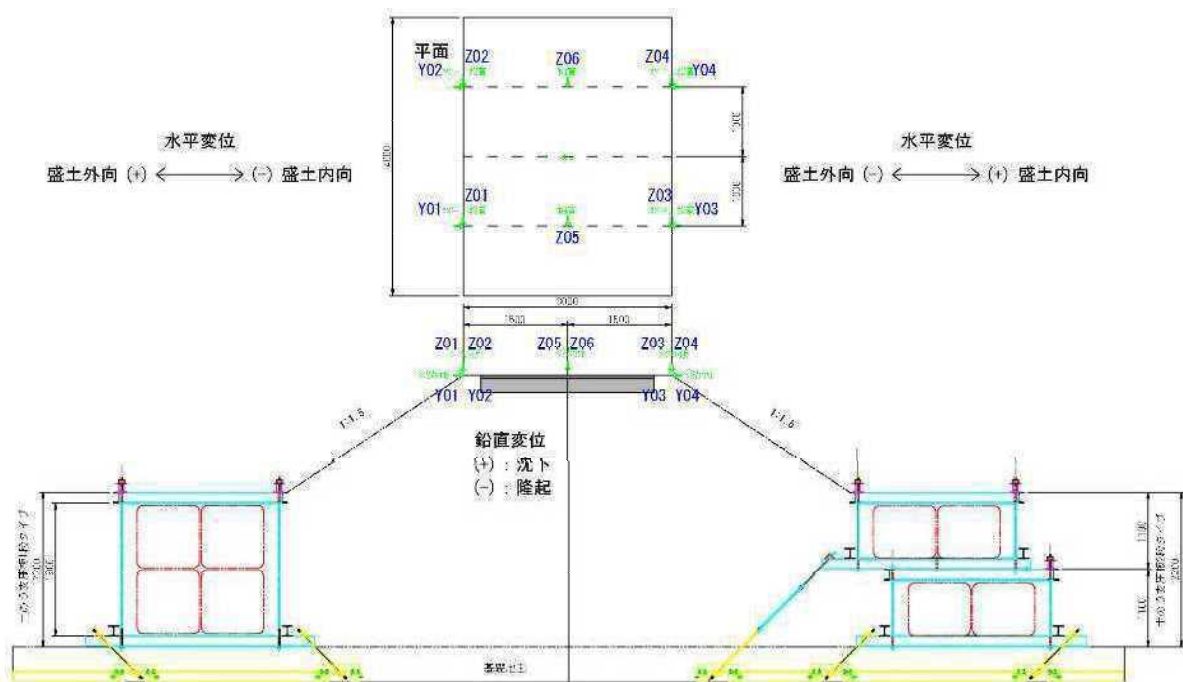


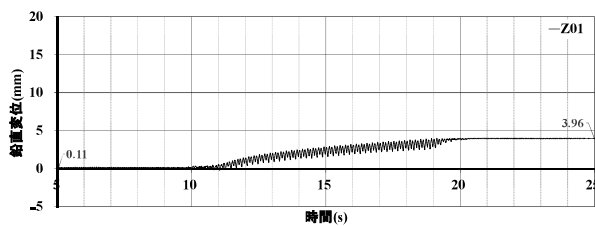
図 4-11 盛土の天端における変位計測位置

表 4-2 盛土の天端の残留沈下(mm)

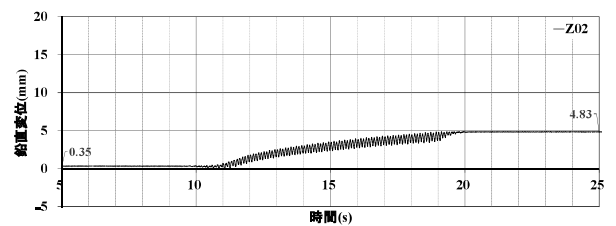
区 分	1 段タイプ側の法肩		盛土中央		2 段タイプ側の法肩	
	Z01	Z02	Z05	Z06	Z03	Z04
加振条件 1 (最大 125Gal 相当波)	0.1	0.3	0.2	0.3	0.3	0.3
加振条件 2 (最大 245Gal 相当波)	3.9	4.5	3.9	4.7	3.2	3.9
加振条件 3 (最大 376Gal 相当波)	×	×	8.2	9.1	×	×
加振条件 4 (最大 660Gal 相当波)	×	×	9.1	9.9	×	×

※<sup>1</sup> (+) : 沈下, (-) : 隆起

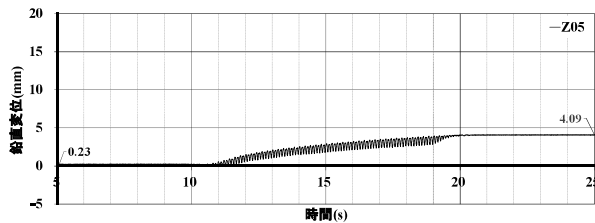
※<sup>2</sup> : 残留沈下 = [加振後変位] - [加振前変位]



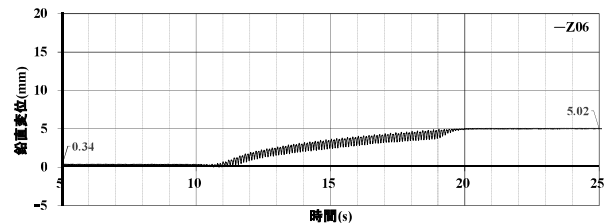
(a) Z01 (1 段タイプ側の法肩部 1)



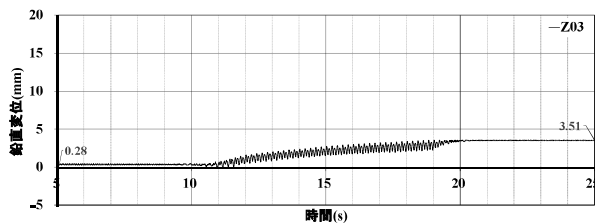
(b) Z02(1 段タイプ側の法肩部 2)



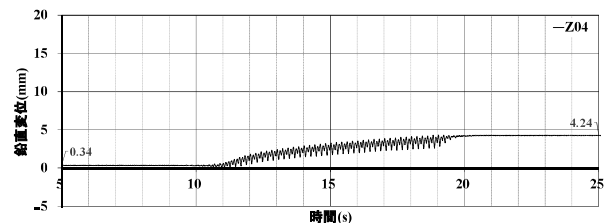
(c) Z05 (中央部 1)



(d) Z06 (中央部 2)



(e) Z03 (2 段タイプ側の法肩部 1)



(f) Z04 (2 段タイプ側の法肩部 2)

図 4-12 加振条件 2(最大 245Gal 相当波)における天端の鉛直沈下の時間歴  
(※ (+): 沈下, (-): 隆起)

## (2) 盛土の法肩部の水平変位

表 4-3 に 1 段・2 段タイプ側の法肩部での天端の残留水平変位量をまとめており、図 4-13 に加振条件 2 (最大 245Gal 相当波) における天端の水平変位を示す。

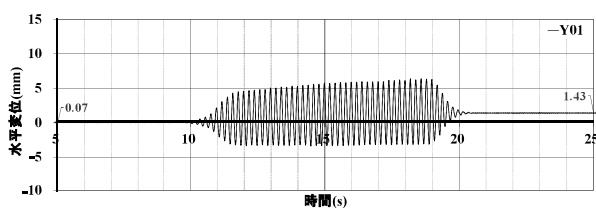
加振条件 1 (最大 125Gal 相当波) では、0.1mm 程度の微小な水平変位が生じた。一方、加振条件 2 (最大 245Gal 相当波) では、最大 1.4mm 程度の水平変位が発生しており、2 段タイプ側より 1 段タイプ側の法肩部での水平変位が大きいことが分かる。また、2 段タイプ側の法肩では、盛土の内向に変位が生じた。これは、1 段タイプ側の残留変位に起因するものと推察される。

表 4-3 盛土の天端の残留水平変位(mm)

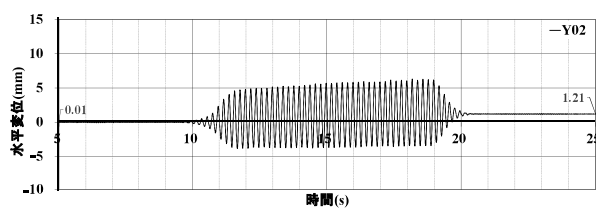
区 分	1 段タイプ側の法肩		2 段タイプ側の法肩	
	Y01	Y02	Y03	Y04
加振条件 1 (最大 125Gal 相当波)	0.1	0.0	0.0	-0.1
加振条件 2 (最大 245Gal 相当波)	1.4	1.2	-0.9	-1.0
加振条件 3 (最大 376Gal 相当波)	×	×	×	×
加振条件 4 (最大 660Gal 相当波)	×	×	×	×

※<sup>1</sup>(+) : 盛土の外向, (-) : 盛土の内向

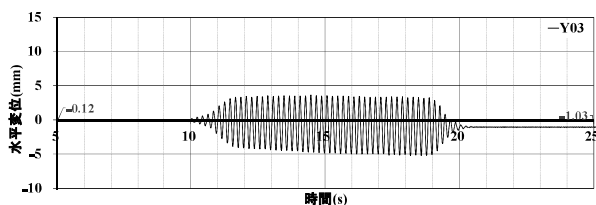
※<sup>2</sup> : 残留変位 = [加振後変位] - [加振前変位]



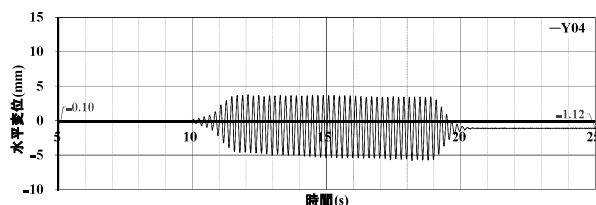
(a) Y01 (1 段タイプ側の法肩部 1)



(b) Y02 (1 段タイプ側の法肩部 2)



(c) Y03 (2 段タイプ側の法肩部 1)



(d) Y04 (2 段タイプ側の法肩部 2)

図 4-13 加振条件 2 (最大 245Gal 相当波) における天端の水平変位の時間歴

(※ (+): 盛土の外向, (-): 盛土の内向)

### 4.2.2 土のう構造体の変形

図 4-14 に土のう構造体における変位計測位置図を示す。土のう構造体の鉛直変位は、1 段・2 段タイプの上部支圧板において 2 箇所ずつ測定しており、水平変位は、1 段・2 段タイプの上部支圧板と土のうでそれぞれ 2 箇所ずつ測定した。以下にその測定結果に関する考察を行う。

#### (1) 土のう構造体の沈下

表 4-4 に 1 段・2 段タイプ側の土のう構造体における残留沈下量をまとめており、図 4-15 に加振条件 3 (最大 376Gal 相当波) における土のう構造体の沈下量を示す。ここで、「土のう構造体の沈下量」は、基礎部の下部支圧板は沈下していないと仮定して、加振に伴う土のうの変形による上部支圧板の沈下量である。

加振条件 1 (最大 125Gal 相当波) の場合は、微小な沈下しか生じていない反面、加振条件 2 (最大 245Gal 相当波)、加振条件 3 (最大 376Gal 相当波) では、加振に伴い土のう構造体の沈下量が徐々に大きくなるのが見て取れる。例えば、加振条件 2 の場合、1 段タイプでは 2.8~3.0mm の沈下が発生し、2 段タイプでは 1.6~1.7mm の沈下が発生した。また、加振条件 3 (最大 376Gal 相当波) の場合は、1 段タイプでは 4.4~5.2mm の沈下が、2 段タイプの土のう構造体では 3.0~3.1mm の沈下が発生した。

ここで、加振条件 4 (最大 660Gal 相当波) において変位が測定できなかった理由は、大加振により、盛土が崩壊することで、変位計が損傷する可能性が高いことから、加振前に変位計を撤去したためである。

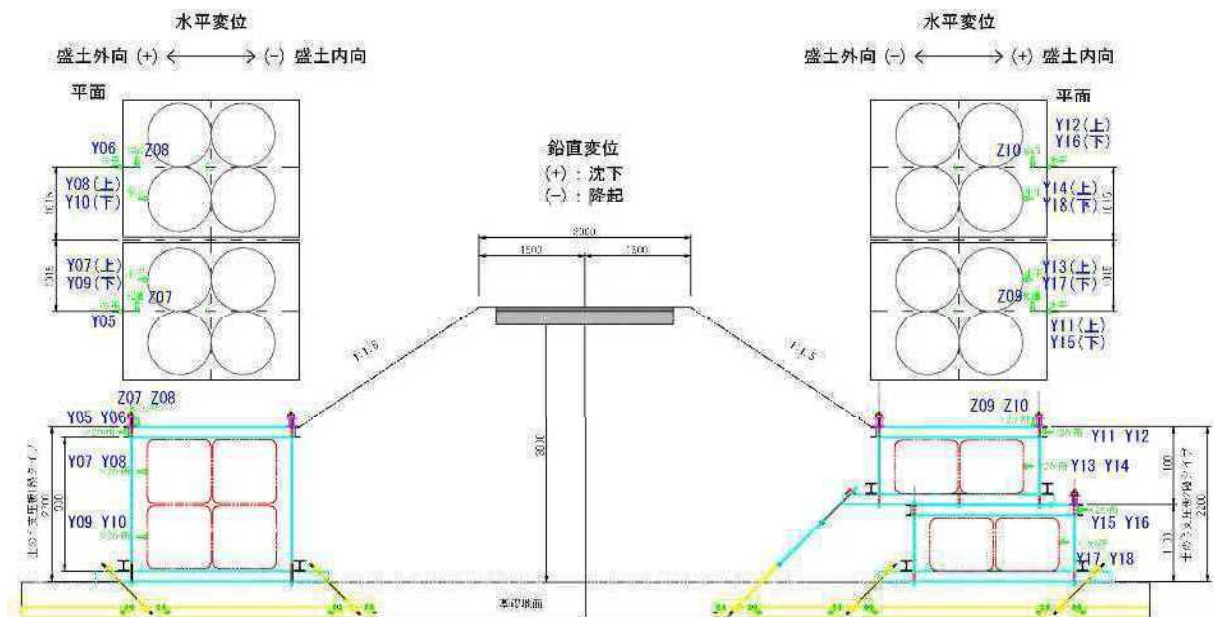


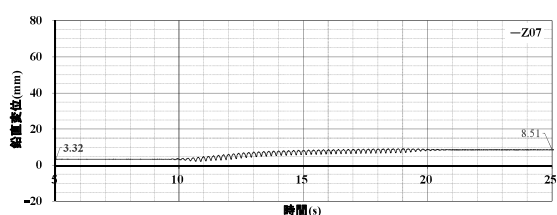
図 4-14 土のう構造体における変位計測位置

表 4-4 土のう構造体の残留沈下(mm)

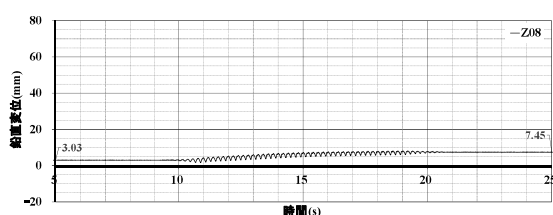
区 分	1 段タイプ上部支圧板		2 段タイプ上部支圧板	
	Z07	Z08	Z09	Z10
加振条件 1 (最大 125Gal 相当波)	0.2	0.2	0.0	0.2
加振条件 2 (最大 245Gal 相当波)	3.0	2.8	1.7	1.6
加振条件 3 (最大 376Gal 相当波)	5.2	4.4	3.1	3.0
加振条件 4 (最大 660Gal 相当波)	×	×	×	×

※<sup>1</sup> (+) : 沈下, (-) : 隆起

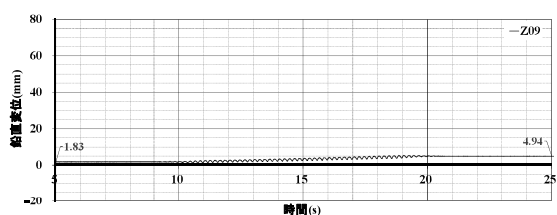
※<sup>2</sup> : 残留沈下 = [加振後変位] - [加振前変位]



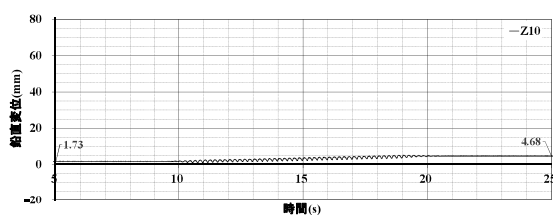
(a) Z07 (1 段タイプ上部支圧板 1)



(b) Z08 (1 段タイプ上部支圧板 2)



(e) Z09 (2 段タイプ上部支圧板 1)



(f) Z10 (2 段タイプ上部支圧板 2)

図 4-15 加振条件 3(最大 376Gal 相当波)における土のう構造体の沈下の時間歴  
(※ (+): 沈下, (-): 隆起)

## (2) 土のう構造体の水平変位

1 段・2 段タイプの土のう構造体の残留水平変位を、表 4-5 と表 4-6 にそれぞれ示しており、図 4-16 と図 4-17 は、加振条件 3 (最大 376G 相当波) における 1 段・2 段タイプの土のう構造体の水平変位である。

加振条件 1 (最大 125G 相当波) では、1 段タイプの土のう構造体の水平変位が 2 段タイプより若干大きいものの、微小な水平変位しか生じていない。一方で、加振条件 2 (最大 245Gal 相当波) の場合、1 段タイプでは 3.2~5.0mm 程度、2 段タイプでは、1.3~1.8mm 程度の水平変位が発生した。また、加振条件 3 (最大 376Gal 相当波) の場合、1 段タイプに最大 17.4mm の比較的大きい水平変位が発生し、2 段タイプも最大 4.7mm の水平変位が発生した。

表 4-5 1 段タイプ土のう構造体の残留水平変位 (mm)

区 分	上部支圧板		上部土のう		下部土のう	
	Y05	Y06	Y07	Y08	Y09	Y10
加振条件 1 (最大 125Gal 相当波)	0.3	0.3	0.4	0.3	0.2	0.2
加振条件 2 (最大 245Gal 相当波)	4.7	4.2	5.0	3.8	3.9	3.2
加振条件 3 (最大 376Gal 相当波)	17.4	15.8	17.1	12.8	9.6	7.9
加振条件 4 (最大 660Gal 相当波)	×	×	×	×	×	×

※<sup>1</sup> (+) : 盛土の外向, (-) : 盛土の内向

※<sup>2</sup> : 残留変位 = [加振後変位] - [加振前変位]

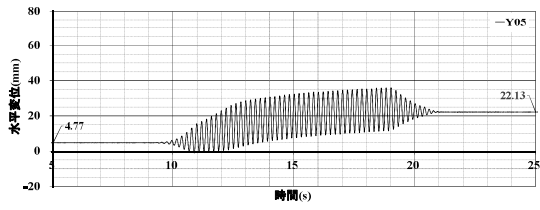
表 4-6 2 段タイプ土のう構造体の残留水平変位 (mm)

区 分	上部支圧板		上部土のう		下部支圧板		下部土のう	
	Y05	Y06	Y07	Y09	Y10	Y08	Y09	Y10
加振条件 1 (最大 125Gal 相当波)	0.2	0.2	0.1	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1
加振条件 2 (最大 245Gal 相当波)	1.5	1.8	1.7	1.8	1.7	1.7	1.3	1.6
加振条件 3 (最大 376Gal 相当波)	4.5	4.4	4.7	4.6	4.6	4.4	3.6	3.3
加振条件 4 (最大 660Gal 相当波)	×	×	×	×	×	×	×	×

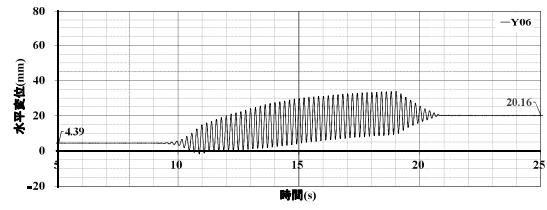
※<sup>1</sup> (+) : 盛土の外向, (-) : 盛土の内向

※<sup>2</sup> : 残留変位 = [加振後変位] - [加振前変位]

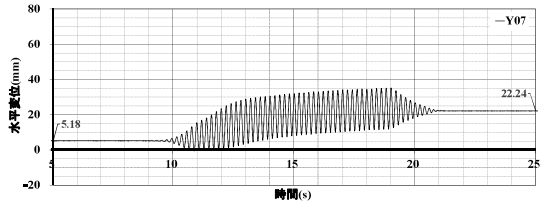




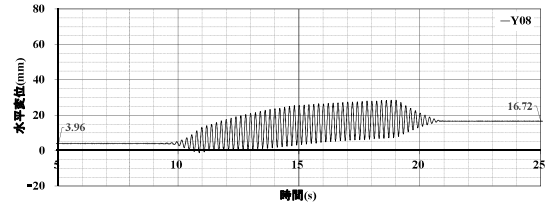
(a) Y05 (上部支圧板 1)



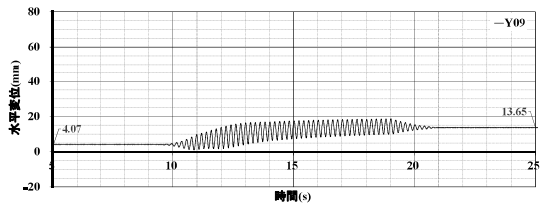
(b) Y06 (上部支圧板 2)



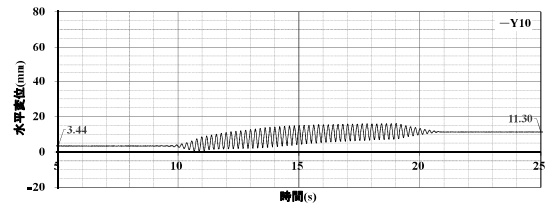
(c) Y07 (上部土のう 1)



(d) Y08 (上部土のう 2)

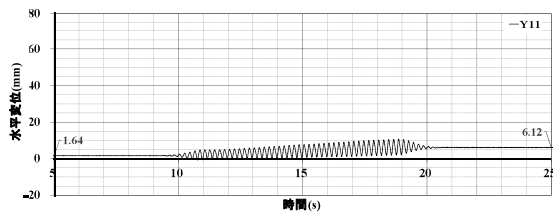


(e) Y09 (下部土のう 1)

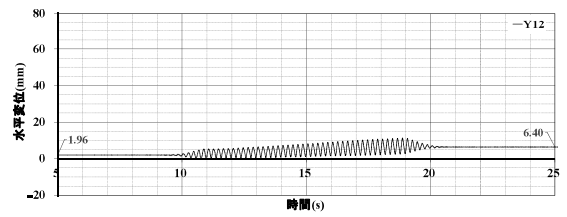


(f) Y10 (下部土のう 2)

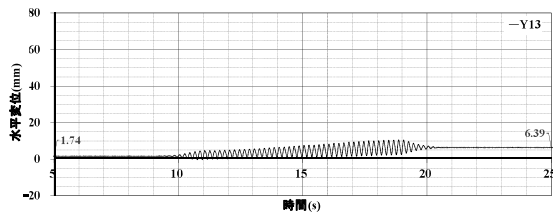
図 4-16 加振条件 3(最大 376Gal 相当波)における 1 段タイプ土のう構造体の水平変位  
 (※ (+): 盛土の外向, (-): 盛土の内向)



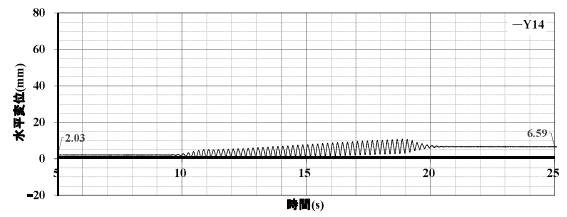
(a) Y11 (上部支圧板 1)



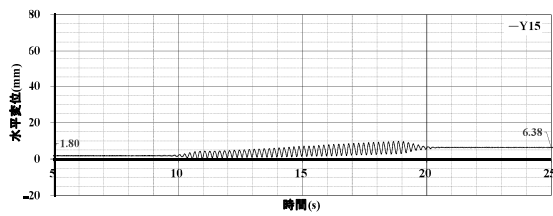
(b) Y12 (上部支圧板 2)



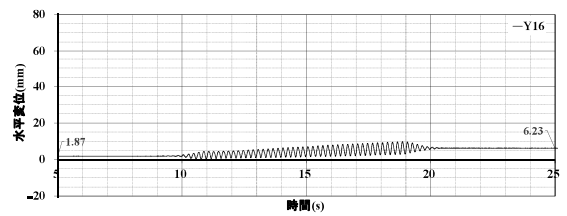
(c) Y13 (上部土のう 1)



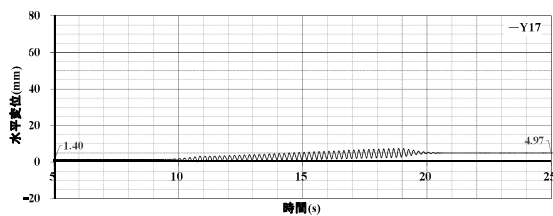
(d) Y14 (上部土のう 2)



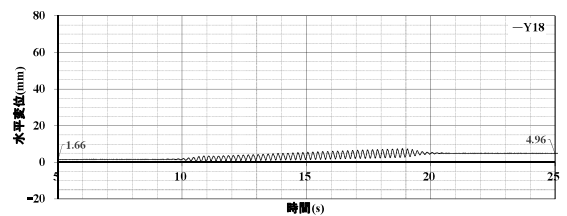
(e) Y15 (下部支圧板 1)



(f) Y16 (下部支圧板 2)



(g) Y17 (下部土のう 1)



(h) Y18 (下部土のう 2)

図 4-17 加振条件 3 (最大 376Gal 相当波) における 2 段タイプ土のう構造体の水平変位  
 (※ (+): 盛土の外向, (-): 盛土の内向)