

【KD-7】擁壁の水平載荷試験報告書

1. 試験目的

本試験はKD 擁壁 (KD-7) の構造ならびに構造計算等の考え方を証明するために、実大構造試験 (水平載荷試験) を実施した。構造試験は平成 30 年 (2018) 2 月 22 日の宅地防災技術会議を参考に、常時荷重時 (286.65kN) における擁壁頂部変位  $\delta = 1.5\text{cm}$  以内 (宅地擁壁は主に建物管理者が民間であるという観点を踏まえて、不同沈下に対する建物の傾斜角 3/1000\_建築学会\_小規模建物基礎設計指針 2000、p.87 より算定) を確認するものである。なお、本試験の最大水平荷重は大地震時(417.29kN)までを想定して計画した。

2. 試験概要

2.1 試験概要

試験場所: [Redacted]

擁壁工法: KD 擁壁 (KD-7)

試験内容: 杭の水平載荷試験 (JGS1831-2010) を準用 1 方向多サイクル方式×1 試験

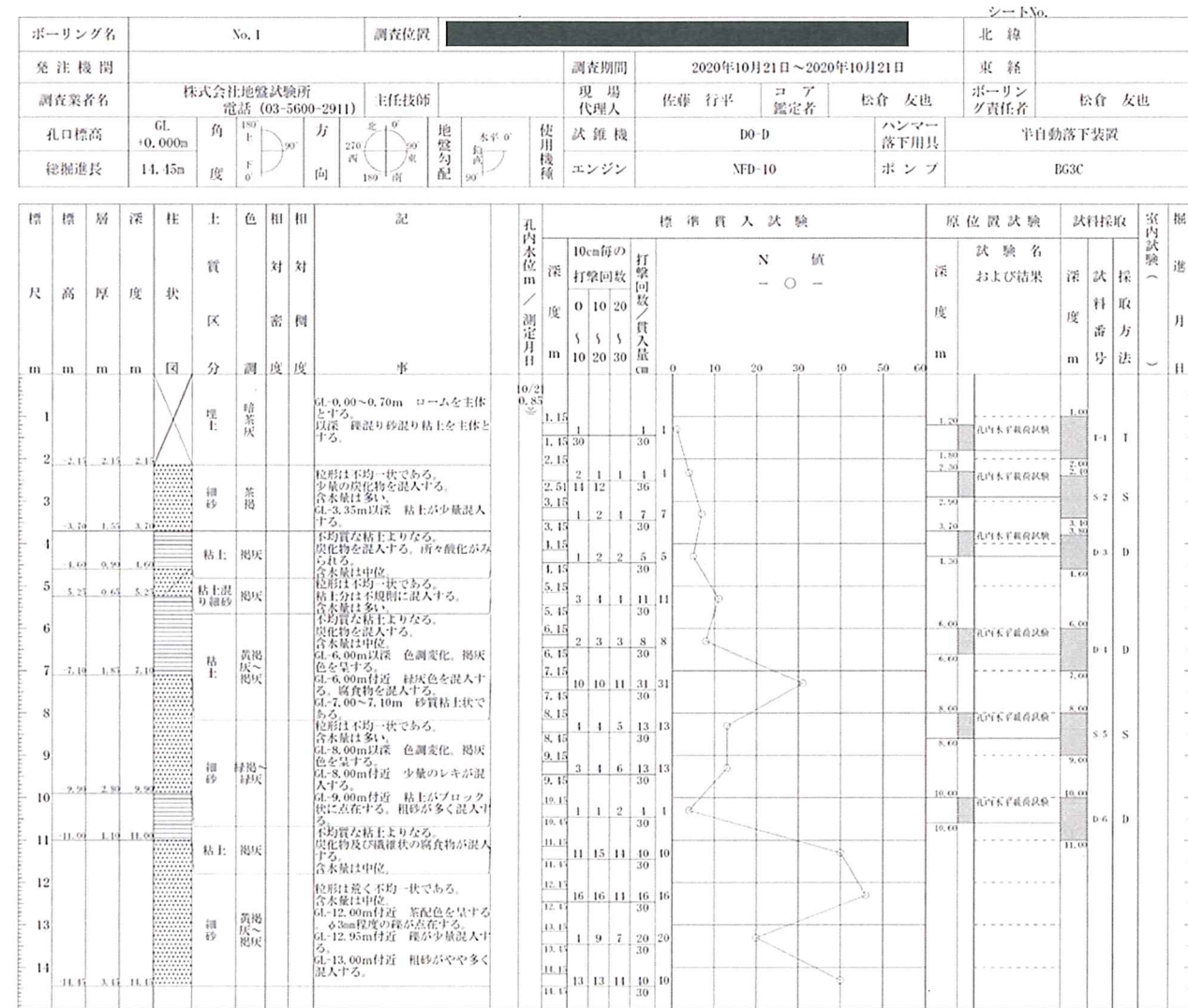
第 6 サイクル 600kN まで段階載荷方式、以降連続載荷方式



図-2.1 現場案内図

2.2 地盤条件

図-2.2 に試験場所のボーリング柱状図ならびに孔内水平載荷試験結果を示す。



孔内水平載荷試験結果

深度 (GL-m)	変形係数 (kN/m²)	深度 (GL-m)	変形係数 (kN/m²)
1.5	1456.0	6.0	16403.3
2.6	5621.7	8.3	21214.7
4.0	6715.9	10.3	13727.0

図-2.2 ボーリング柱状図と孔内水平載荷試験結果

### 2.3 試験概要

水平載荷試験の試験内容を表-2.1 に示す。

表-2.1 水平載荷試験の内容

項目	試験内容
試験基準	試験の方法は、地盤工学会「杭の水平載荷試験方法・同解説 杭の水平載荷試験方法 (JGS1831-2010)」を準用した。
計画最大荷重	計画最大荷重 Pmax=420kN (大地震時外力相当)
試験数量	1試験
載荷装置	計画最大荷重(420kN)の120% (504kN≒500kN) の加力能力を有するように計画した。
加力装置	油圧ジャッキ 1000kN×2台と電動油圧ポンプにより加力した。

### 2.4 試験工程

試験工程表を表-2.2 に示す。

表-2.2 試験工程表

	2021/05																														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
	土	日	月	火	水	木	金	土	日	月	火	水	木	金	土	日	月	火	水	木	金	土	日	月	火	水	木	金	土	日	月
資機材積込																															
資機材搬入																															
載荷桁・基準梁設置																															
シート養生																															
試験準備																															
載荷試験																															
載荷装置解体搬出																															

### 3. KD 擁壁の諸元

本試験に用いる基礎杭の仕様を表-3.1 に、擁壁の仕様と当該試験位置における土質柱状図との関係を図-3.1 に示す。

表-3.1 基礎杭の仕様

杭種	鋼管径 (mm)	掘削径 (mm)	杭長 (m)	板厚 (mm)	断面積 (m <sup>2</sup> )	断面2次モーメント (m <sup>4</sup> )	材質	備考
試験杭	267.4	400	9(前面) 7(背面)	5.8	477×10 <sup>-5</sup>	4.1×10 <sup>-5</sup>	STK400	

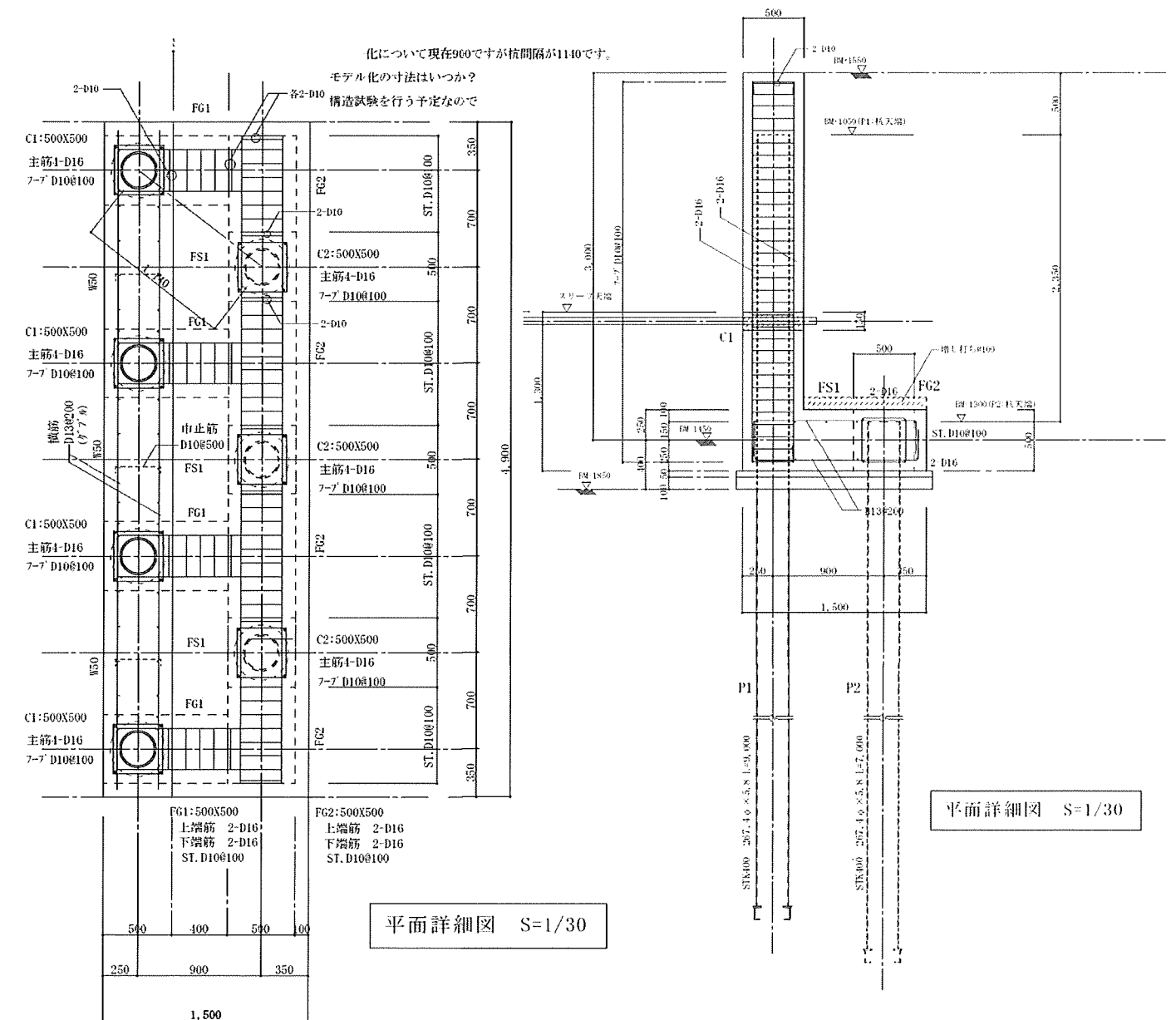


図-3.1 KD 擁壁試験体



#### 4. 載荷荷重の検討

宅地防災マニュアルの解説（宅地防災研究会\_平成19年11月\_第二次改定版：以下、宅防マニュアル）p.303における擁壁の要求性能は、常時、中地震時、大地震時において想定される外力に対して、表-4.1に示す性能を各々満足するように検討を行うとされている。ここに、中地震時、大地震時とは宅防マニュアル pp.92～pp.97 に示されているように、中規模地震動で標準設計水平震度  $k_0=0.2$ 、大規模地震動で  $k_0=0.25$  と示されており、また、その妥当性が解説されている。

本試験においても宅防マニュアルの方針を踏襲し、大地震時の外力相当を最大荷重として水平載荷試験を計画した。

表-4.1 各外力に対する擁壁への要求性能

各外力	要求性能	外力 (kN)
常時	常時荷重により、擁壁には転倒、滑動及び沈下が生じずクリープ変形も生じない。また、擁壁躯体にクリープ変形が生じない。	286.65
中地震時	中地震時に想定される外力により、擁壁に有害な残留変形が生じない。	-
大地震時	大地震時に想定される外力により擁壁が転倒、滑動及び沈下が生じず、また擁壁躯体にもせん断破壊あるいは曲げ破壊が生じない。	417.29

※常時の外力算定は宅防マニュアルⅧ, 3.擁壁の設計及び施工に基づく

#### 5. 載荷装置

載荷試験装置図を図-5.1に示す。同図に示すように、載荷装置は反力抵抗体と1000kNジャッキ2基、載荷梁、PC鋼棒から構成される。載荷位置は常時、中地震時、大地震時土圧の合力位置（B.M.-0.473m）とした。

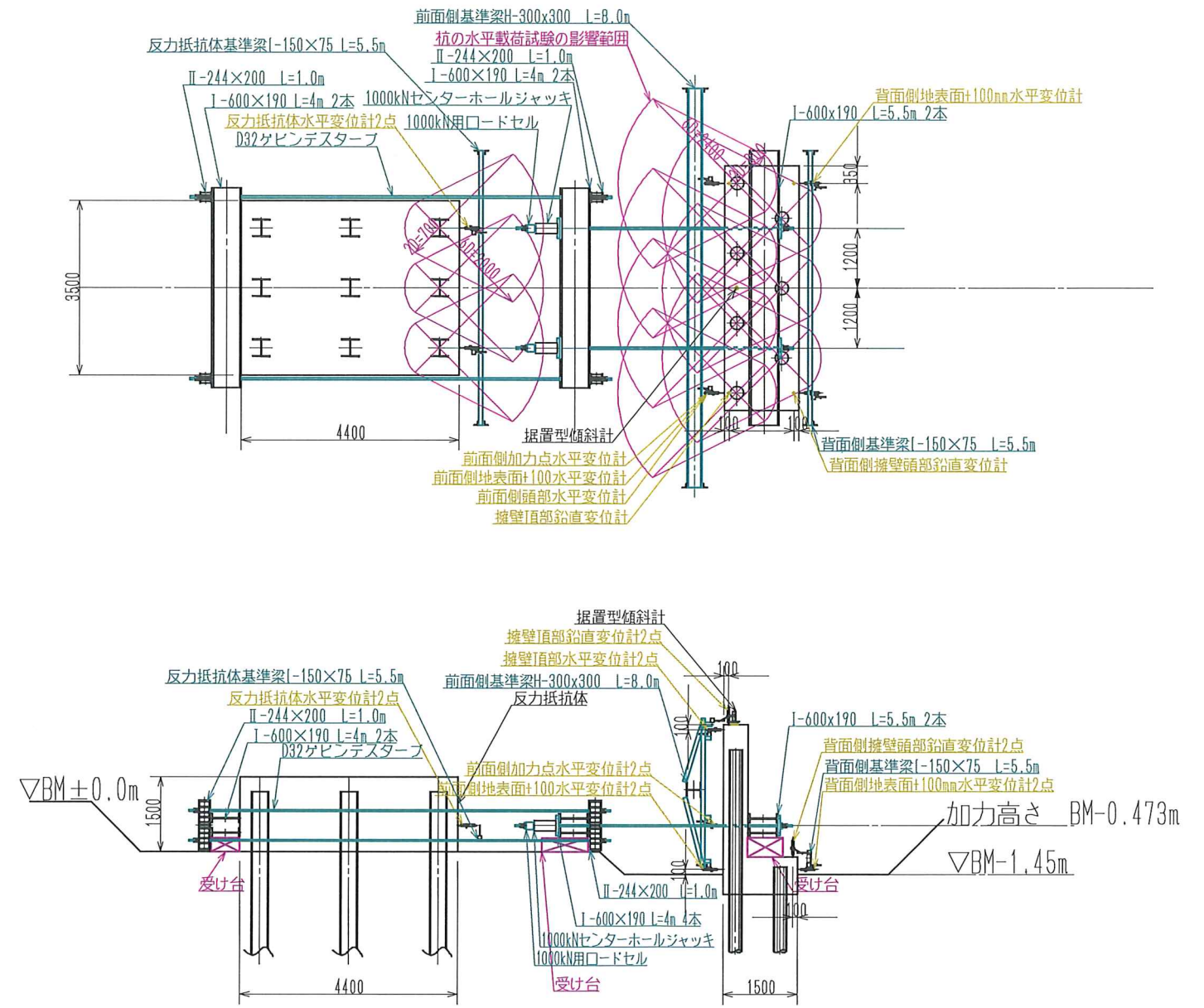


図-5.1 水平載荷試験装置図

6. 試験方法

水平載荷試験は荷重制御方式とした。荷重段階を表-6.1、荷重サイクル図を図-6.1 に示す。

表-6.1 荷重段階

サイ クル	最大 荷重 (kN)	荷重段階 (mm) ○印：新規荷重
1	100	○ ○ ○ ○ 0~25~50~75~100~75~50~25~0
2	200	○ ○ ○ ○ 0~25~50~75~100~125~150~175~200~175~150~125~100~75~50~25~0
3	300	○ ○ ○ ○ 0~50~100~150~200~225~250~275~300~275~250~200~150~100~50~0
4	400	○ ○ ○ ○ 0~50~100~150~200~250~300~325~350~375~400~375~350~300~250~200 ~150~100~50~0
5	500	○ ○ ○ ○ 0~50~100~150~200~250~300~350~400~425~450~475~500~475~450~400 ~350~300~250~200~150~100~50~0
6	1070	○ ○ ○ ○ ○ ○ 0~100~200~300~400~500~525~550~575~・・・~1150~1170~1075~1050 ~1000~950~900~・・・~50~0

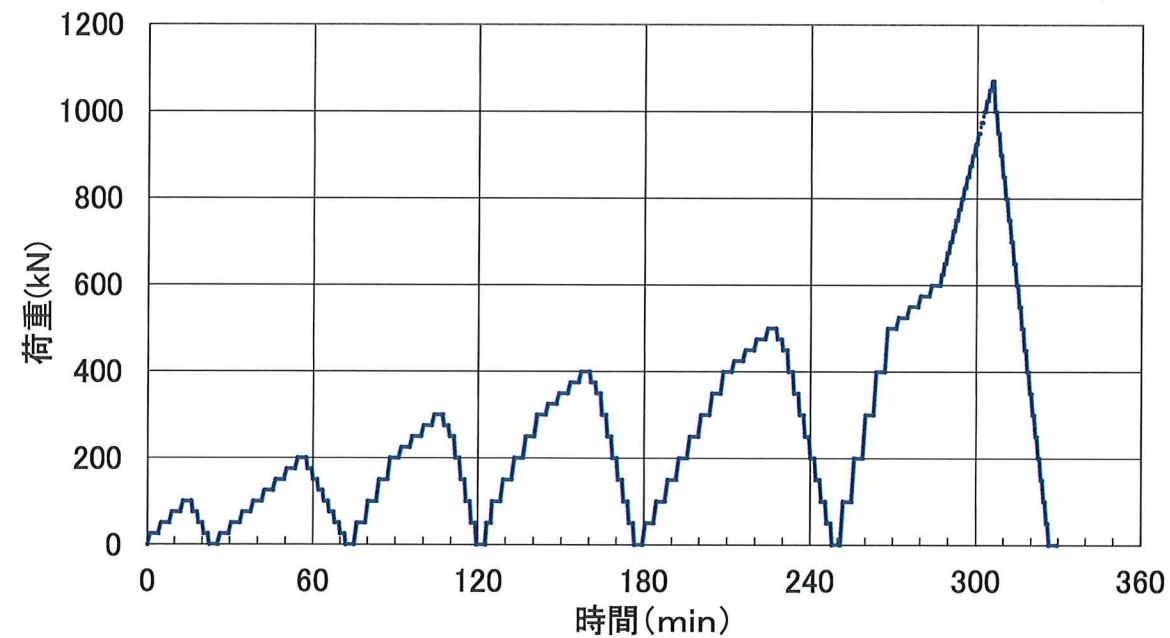


図-6.1 荷重サイクル図

7. 測定項目

水平載荷試験時の測定項目を表-7.1 に示す。各変位計の取付位置は図-5.1 に示す。

表-7.1 水平載荷試験の測定項目

測定項目	目的	点数	機器使用
杭頭荷重	水平載荷荷重及び水平変位量を測定することにより水平抵抗に関する資料を得ることが出来る。	2点	ロードセル
前面側加力点 水平変位量 B.M.-0.473m		2点	精度 1/100mm ストローク 100mm または ストローク 50mm
前面側地表面+100 水平変位量 B.M.-1.350m		2点	
前面側擁壁頂部 水平変位量 B.M.+1.450m		2点	
背面側地表面+100 水平変位量 B.M.-0.473m		2点	
前面側頂部 鉛直変位量 B.M.+1.550m		2点	
背面側擁壁頭部 鉛直変位量 B.M.-1.100m	2点	水平載荷荷重に対する背面側擁壁頭部の鉛直変位を把握する。	
反力杭抵抗体 水平変位量 B.M.-0.473m	反力杭に変位計を2点取り付け反力杭の安全チェックを行う。	2点	
擁壁頂部傾斜角 B.M.+1.450m	試験時の擁壁頂部の傾斜角を把握する。	1点	固定式傾斜計

8. 試験結果

8.1 試験の経緯

水平載荷試験は令和3年5月14日9時59分より開始した。試験時は荷重と変位量の間係を作図し、計測値の管理を行いながら試験を行った。第5サイクルまでの荷重・変位・傾斜角は載荷荷重 P=500kN、加力点変位量  $\delta=6.77$  mm、擁壁頂部変位量  $\delta=10.98$  mm、擁壁頂部の傾斜角は  $\theta=0.131^\circ$  であった。第6サイクルの新規荷重 P=625kN からは荷重を保持しない連続載荷方式へと切り替え載荷した。

第6サイクルの試験最大荷重 P=1,170kN 時で、加力点変位量  $\delta=49.17$  mm、擁壁頂部変位量  $\delta=90.13$  mm、擁壁頂部の傾斜角は  $\theta=1,239^\circ$  であった。この時点で装置の載荷限界に達したと判断し試験を終了した。試験終了時刻は同日14時58分であった。なお、反力体の最大変位量は  $\delta=9.38$ mm、残留変位量は  $\delta=2.22$ mm であった。

各サイクルの新規荷重時の変位量と傾斜角を表-8.1～表-8.2に一覧して示す。

表-8.1 新規荷重時の変位量と傾斜角(第1サイクル～第5サイクル)

サイ クル	荷重 (kN)	変位量(mm)			変位量(mm)			擁壁頂部 傾斜角 (deg)
		加力点 BM-0.473m	加力点 残留	加力点 戻り	前面頂部 BM+1.450m	頂部 残留	頂部 戻り	
1	25	0.13			0.20			0.006
	50	0.32			0.51			0.008
	75	0.52			0.86			0.011
	100	0.74	0.13	0.61	1.22	0.27	0.96	0.017
2	125	1.00			1.70			0.022
	150	1.25			2.11			0.028
	175	1.51			2.54			0.033
	200	1.78	0.32	1.46	2.98	0.63	2.35	0.039
3	225	2.19			3.69			0.045
	250	2.44			4.11			0.050
	275	2.78			4.65			0.056
	300	3.10	0.66	2.44	5.12	1.12	4.00	0.064
4	325	3.61			5.91			0.075
	350	3.96			6.48			0.081
	375	4.36			7.08			0.086
	400	4.75	1.03	3.72	7.72	1.81	5.91	0.095
5	425	5.41			8.84			0.106
	450	5.84			9.50			0.114
	475	6.29			10.21			0.123
	500	6.77	1.52	5.26	10.98	2.55	8.43	0.131

表-8.2 新規荷重時の変位量と傾斜角(第6サイクル)

サイ クル	荷重 (kN)	変位量(mm)			変位量(mm)			擁壁頂部 傾斜角 (deg)
		加力点 BM-0.473m	加力点 残留	加力点 戻り	前面頂部 BM+1.450m	頂部 残留	頂部 戻り	
6	525	7.63			12.35			0.148
	550	8.10			13.13			0.156
	575	8.72			14.21			0.167
	600	9.39			15.43			0.187
	625	10.21			16.92			0.206
	650	10.67			17.73			0.218
	675	11.38			19.01			0.248
	700	13.03			21.96			0.279
	725	13.95			23.58			0.299
	750	14.92			25.21			0.318
	775	15.97			27.15			0.343
	800	16.99			28.86			0.365
	825	18.10			30.89			0.391
	850	19.71			34.03			0.441
	875	21.17			36.78			0.477
	900	23.35			40.61			0.527
	925	24.16			42.09			0.547
	950	25.17			43.94			0.572
	975	26.80			46.91			0.614
	1000	28.34			49.75			0.653
1025	30.21			53.23			0.700	
1050	32.51			57.72			0.764	
1075	35.06			62.83			0.843	
1100	38.18			69.05			0.893	
1125	42.44			77.26			1.055	
1150	45.44			83.00			1.136	
1170	49.17	23.24	25.93	90.13	42.51	47.62	1.239	



## 8.2 結果のグラフ

試験により求めた、荷重と水平変位量の関係を図 8.1 に、荷重と傾斜角の関係を図 8.2 に示す。傾斜角に関しては、擁壁の頂部に設置した傾斜計と、擁壁前面の水平変位量から計算した傾斜角を併記している。図 8.2 より、傾斜角は測定値と計算値がよく一致する結果であった。

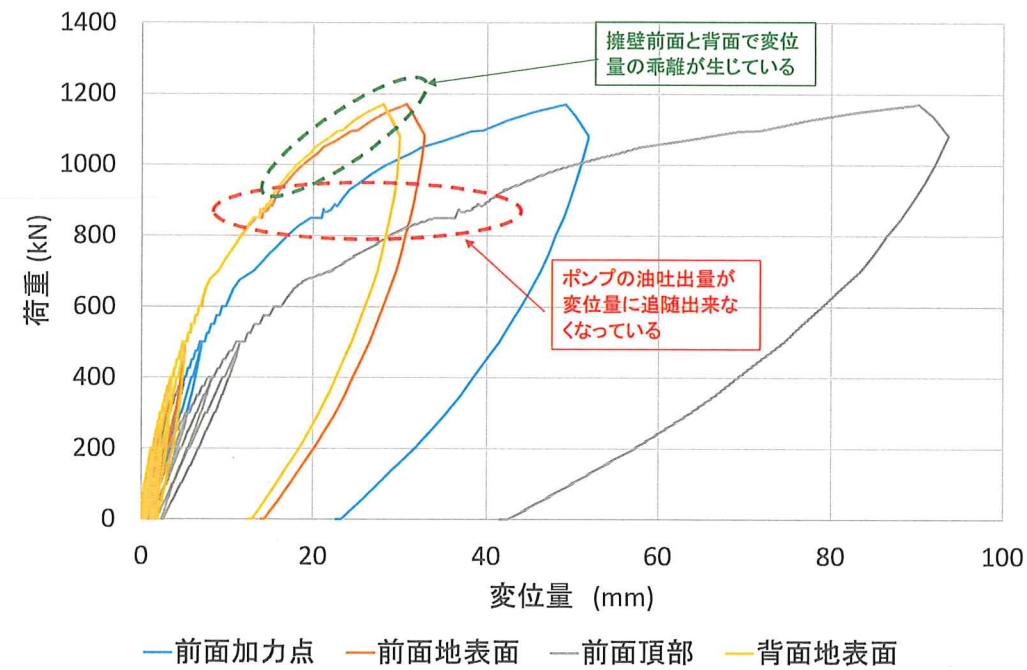


図-8.1 荷重-変位量図

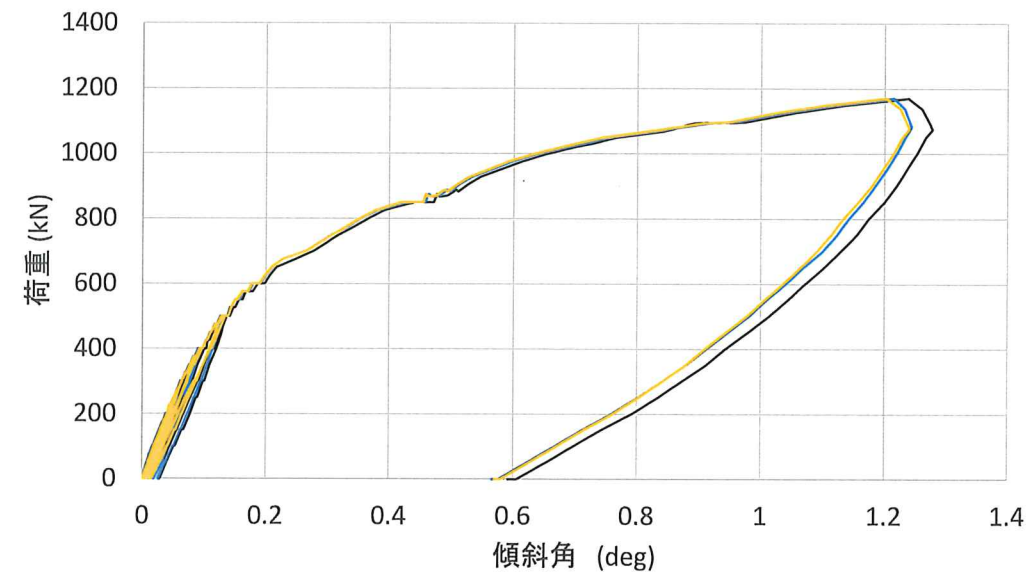


図-8.2 荷重-傾斜角図

## 9. 考察 (クラックの発生について)

第6サイクルの載荷後、試験体を確認したところ写真9.1のようなクラックが生じていた。図 8.1 には擁壁前面と背面の地表面変位を示してあるが、途中までは2つの曲線はよく一致していたが最大荷重に近づくにつれて変位量の乖離が生じている。地表面変位の差分を示した図 9.1 より、載荷荷重  $P=800\text{kN}$  前後から変位量の乖離が生じていることが分かる。これは、擁壁の前面と背面の間にクラックが発生したことによるものと考えられる。また、図 8.1 の曲線において、 $P=850\text{kN}$  前後にノイズのようなバラツキが発生しているが、これは油圧ポンプの油吐出量が擁壁の変位に追随出来なくなったために生じた現象であると考えられる。これらの結果より、クラックは載荷荷重  $P=800\text{kN}\sim 850\text{kN}$  程度で発生したものと考えられる。



写真 9.1 擁壁クラック発生状況

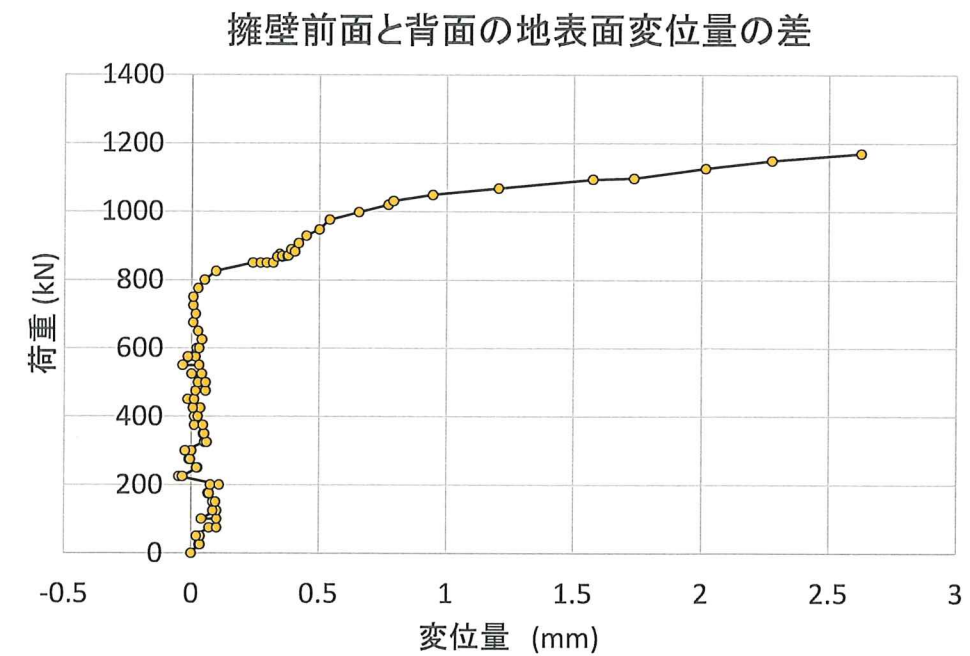


図-9.1 擁壁前面と背面の地表面変位量の差