

新形式防波堤

『斜面横スリット式上部斜面堤』

開発・施工及び現地観測について

---

1. 開発の背景と類似技術との相違

---

---

2. 開発の経緯

---

---

3. 開発の結果

---

---

4. 施工時の留意点

---

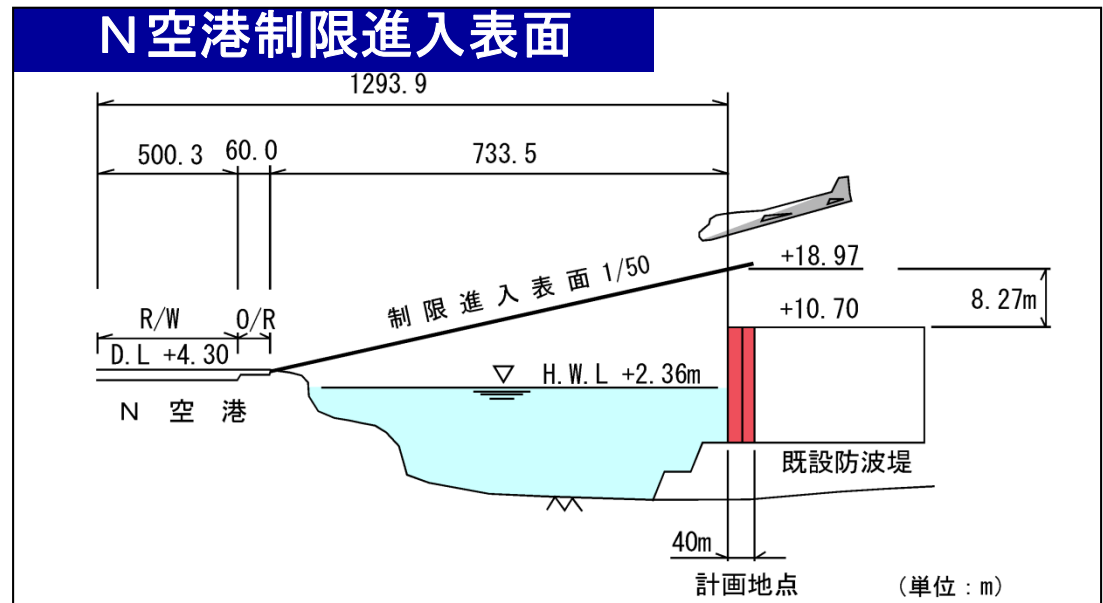
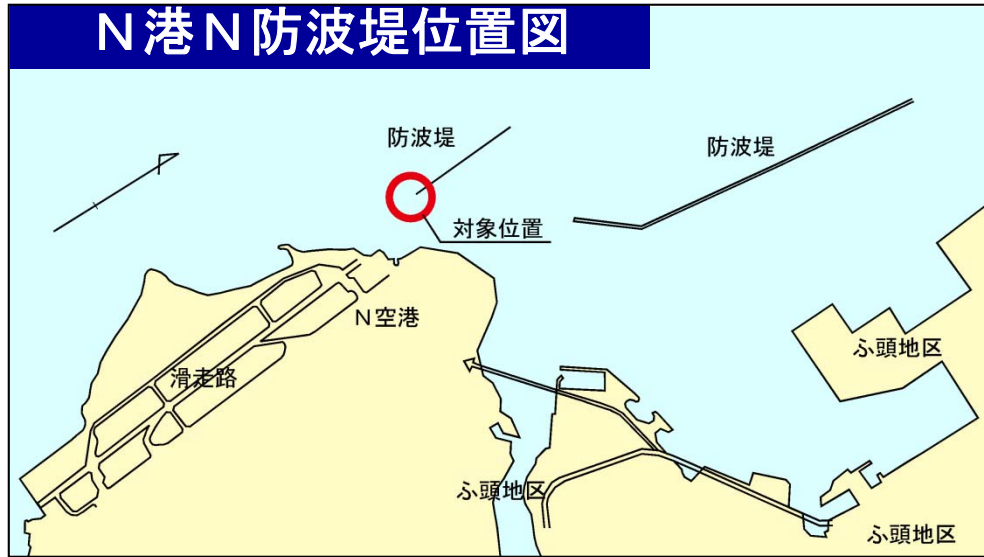
---

5. 現地計測

---

# 1. 開発の背景と類似技術との相違 (1/6)

## 新形式防波堤の計画位置とN空港制限進入表面



# 1. 開発の背景と類似技術との相違 (2/6)

## 新形式防波堤の計画位置とN空港制限進入表面

### 計画地点における航空機進入状況



# 1. 開発の背景と類似技術との相違 (3/6)

## 満足すべき制約条件

### ① 大水深・高波浪海域に対応可能な構造であること

設計水深		DL-20.00m
潮位	H. H. W. L	DL+3.20m
	H. W. L	DL+2.10m
	L. W. L	DL±0.00m
波浪条件 (50年確率波)	$H_0$ (m)	11.50
	$H_0'$ (m)	10.25
	$H_{1/3}$ (m)	9.90
	$H_{max}$ (m)	16.90
	$T_{1/3}$ (S)	15.10
	$\beta$ (°)	44.50

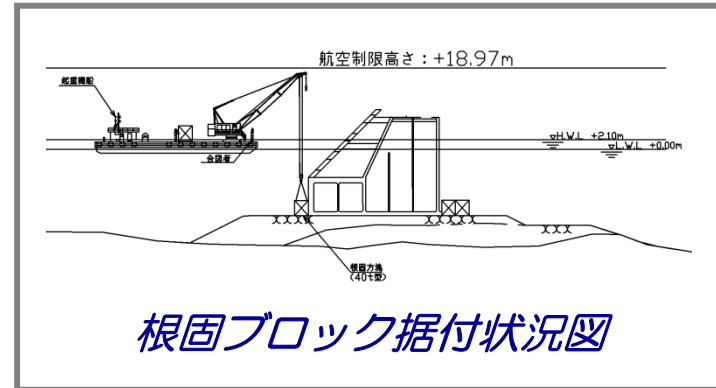
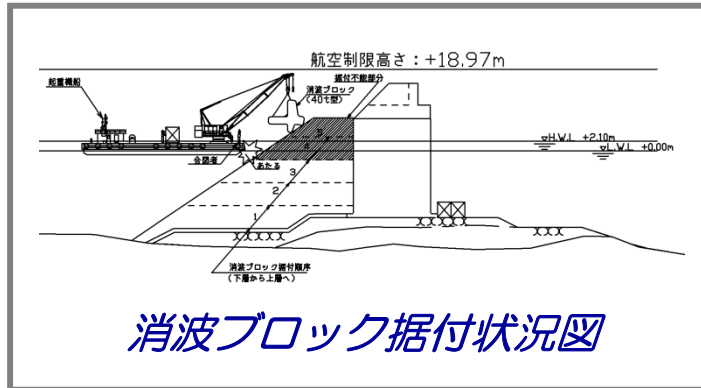
### ② 防波堤からの反射波の低減が可能であること

消波対象波	H (m)	2.50
(出漁限界波)	T (S)	7.50

# 1. 開発の背景と類似技術との相違 (4/6)

## 満足すべき制約条件

### ③ ブロック類の安全な据付が可能であること



### ④ 斜めに入射する波についても反射波の低減が可能であること

### ⑤ 波作用時に発生する波の打ち上げを制限進入表面下にできること

### ⑥ 隣接工区消波ブロックの巻き止めが可能であること



類似技術と異なる防波堤の開発

# 1. 開発の背景と類似技術との相違 (5/6)

## 防波堤形式の提案

- ① 上部斜面堤の高い安定性能と打ち上げ高さ低減効果
- ② 直立消波ケーソン堤の消波機能
- ③ 二重円筒ケーソン堤(横スリット)の斜め入射波に対する消波性能



斜面横スリット式上部斜面堤の提案

# 1. 開発の背景と類似技術との相違 (6/6)

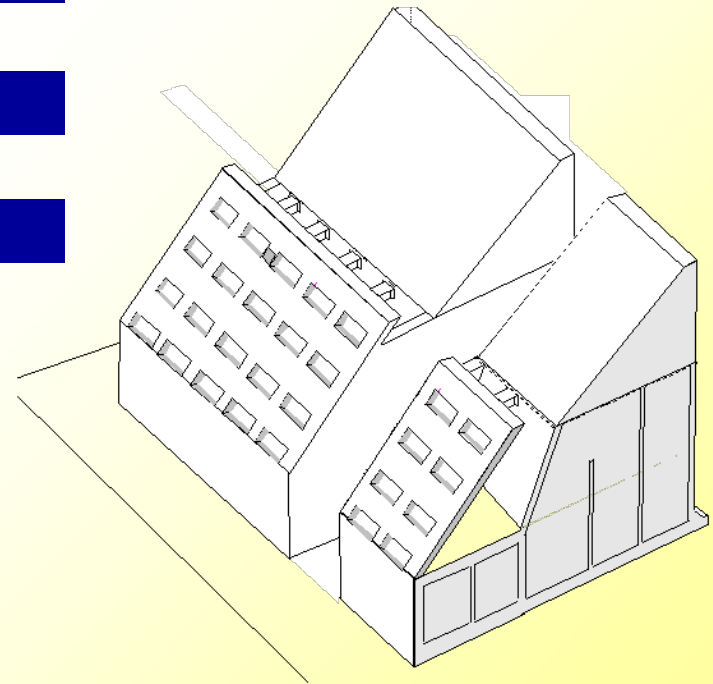
## 斜面横スリット式上部斜面堤の特徴

滑動抵抗力の増大が期待できる

消波ブロックを使用しない

打ち上げ高さの低減

他に類を見ない新形式防波堤である

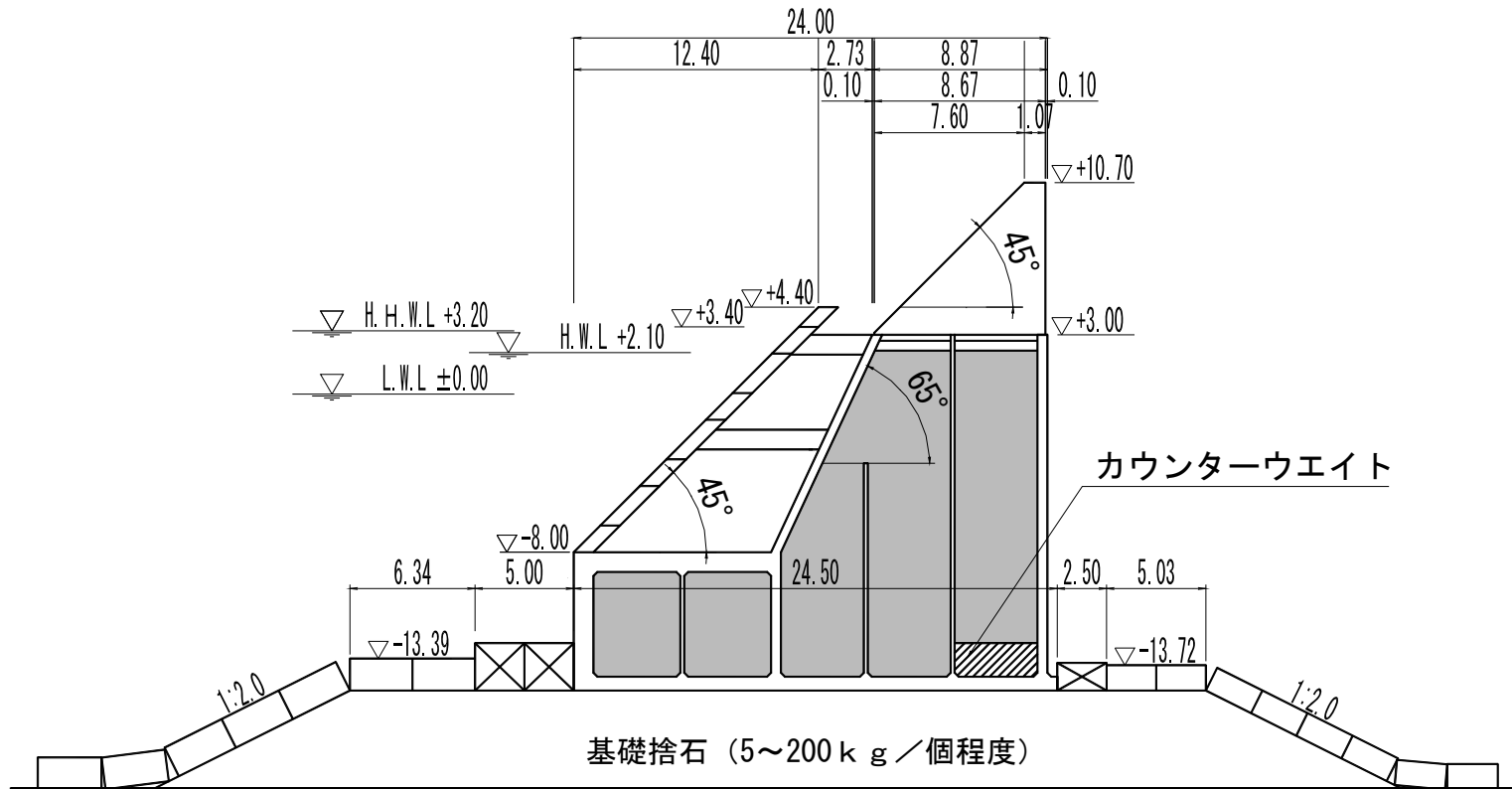


斜面横スリット式上部斜面堤一般図



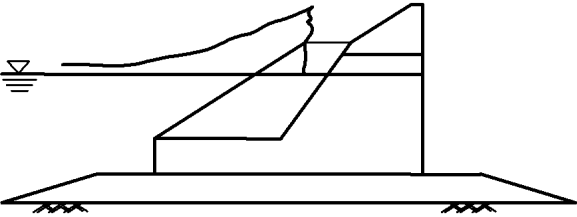
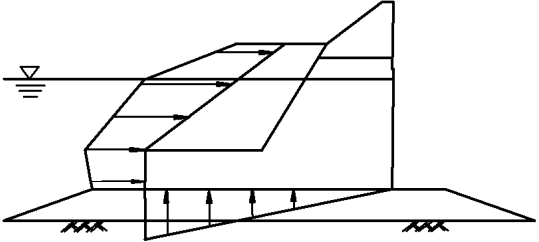
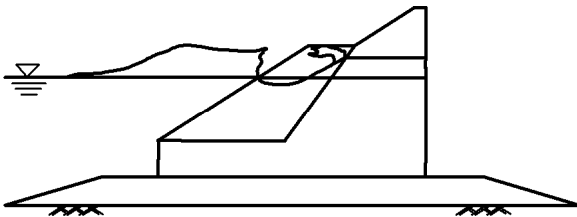
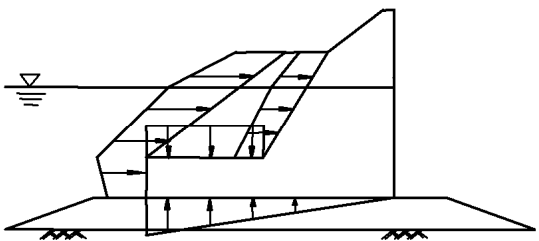
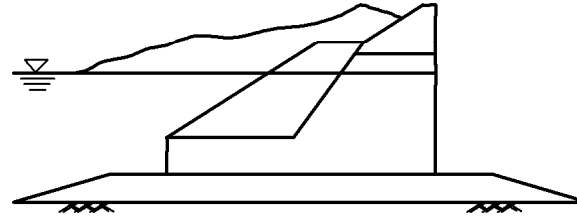
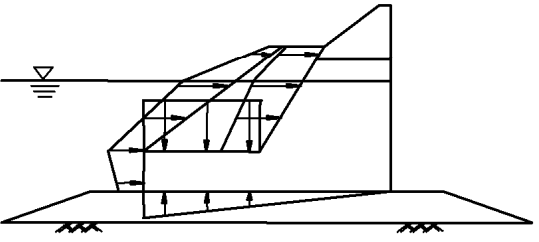
## 2. 開発の経緯 (1/14)

### 基本断面 (スリット角度45度)



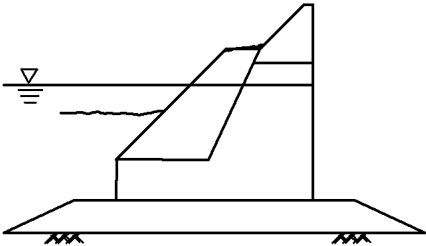
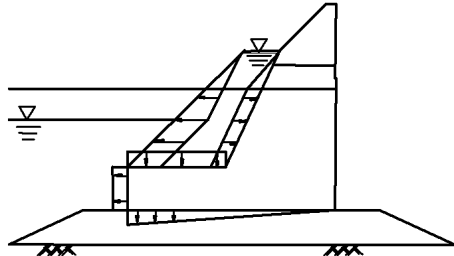
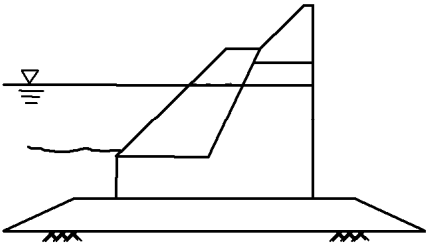
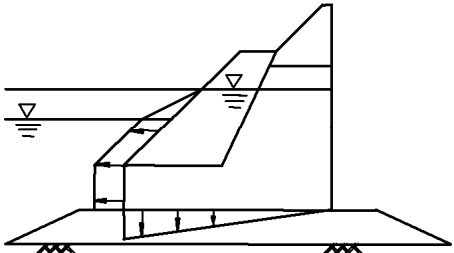
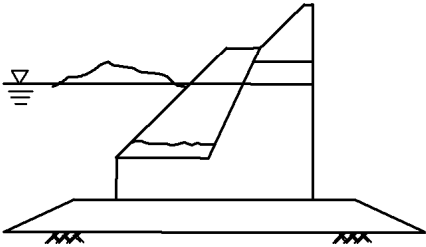
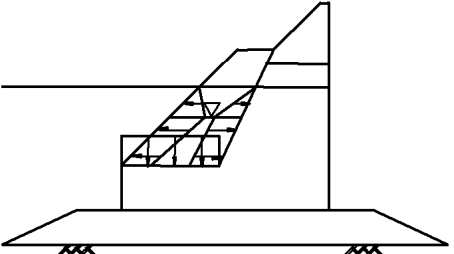
## 2. 開発の経緯 (2/14)

### 斜面横スリット式上部斜面堤の波圧分布（押し波時）

<p>【押し波時Ⅰ】</p> <p>スリット部の波力が最大となる位相</p>		
<p>【押し波時Ⅱa】</p> <p>遊水室後壁に衝撃的な波力のピークが現れる位相</p>		
<p>【押し波時Ⅱb】</p> <p>遊水室後壁に比較的ゆるやかに変化する波力のピークが現れる位相</p>		

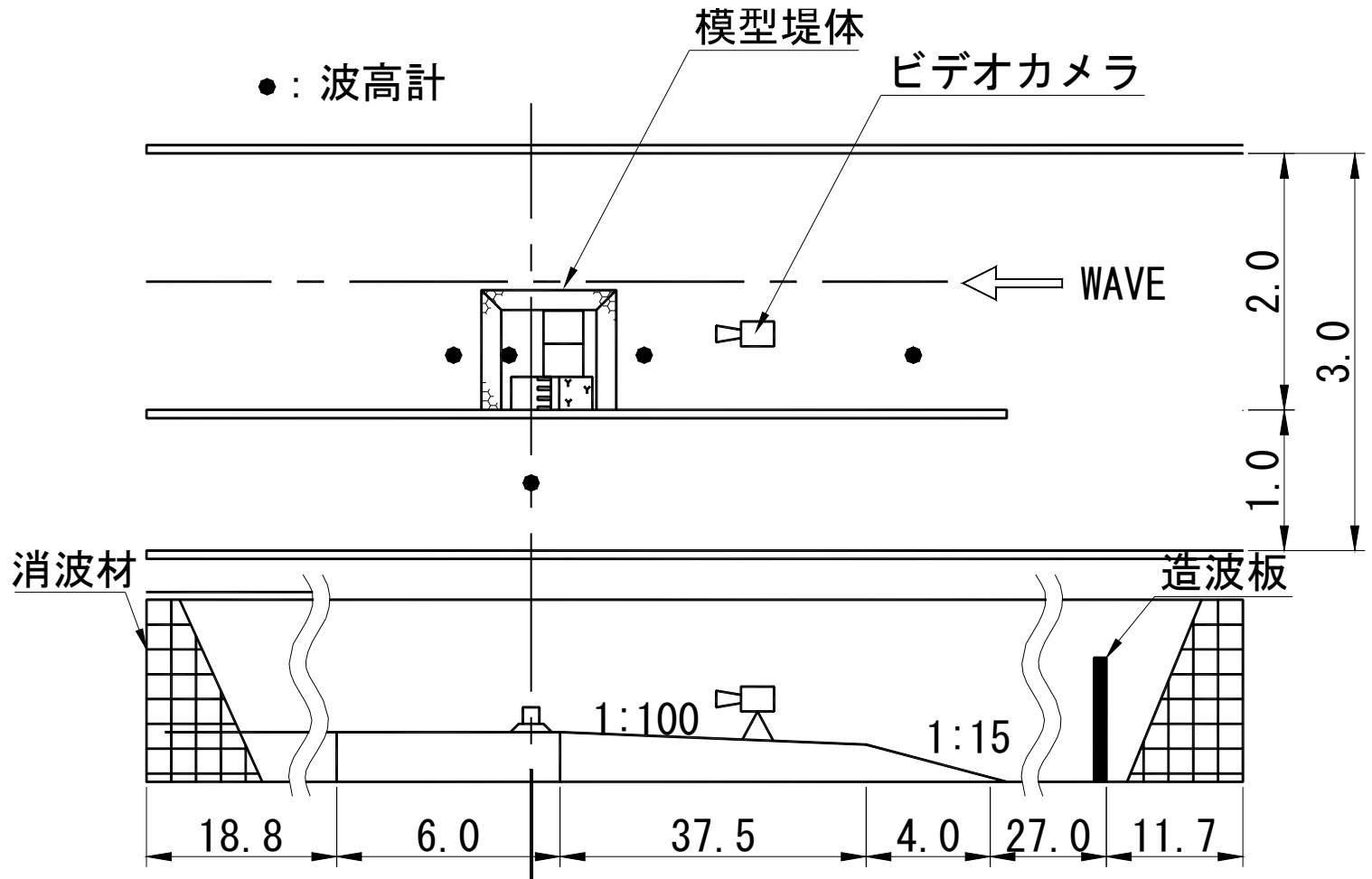
## 2. 開発の経緯 (3/14)

### 斜面横スリット式上部斜面堤の波圧分布（引き波時）

<p>【引き波時Ⅰ】</p> <p>スリット部の波力が負のピークとなる位相</p>		
<p>【引き波時Ⅱa】</p> <p>ケーソン前面の水位が最も低下する位相</p>		
<p>【引き波時Ⅱb】</p> <p>遊水室内の水位が最も低下する位相</p>		

## 2. 開発の経緯 (4/14)

### 実験断面



## 2. 開発の経緯 (5/14)

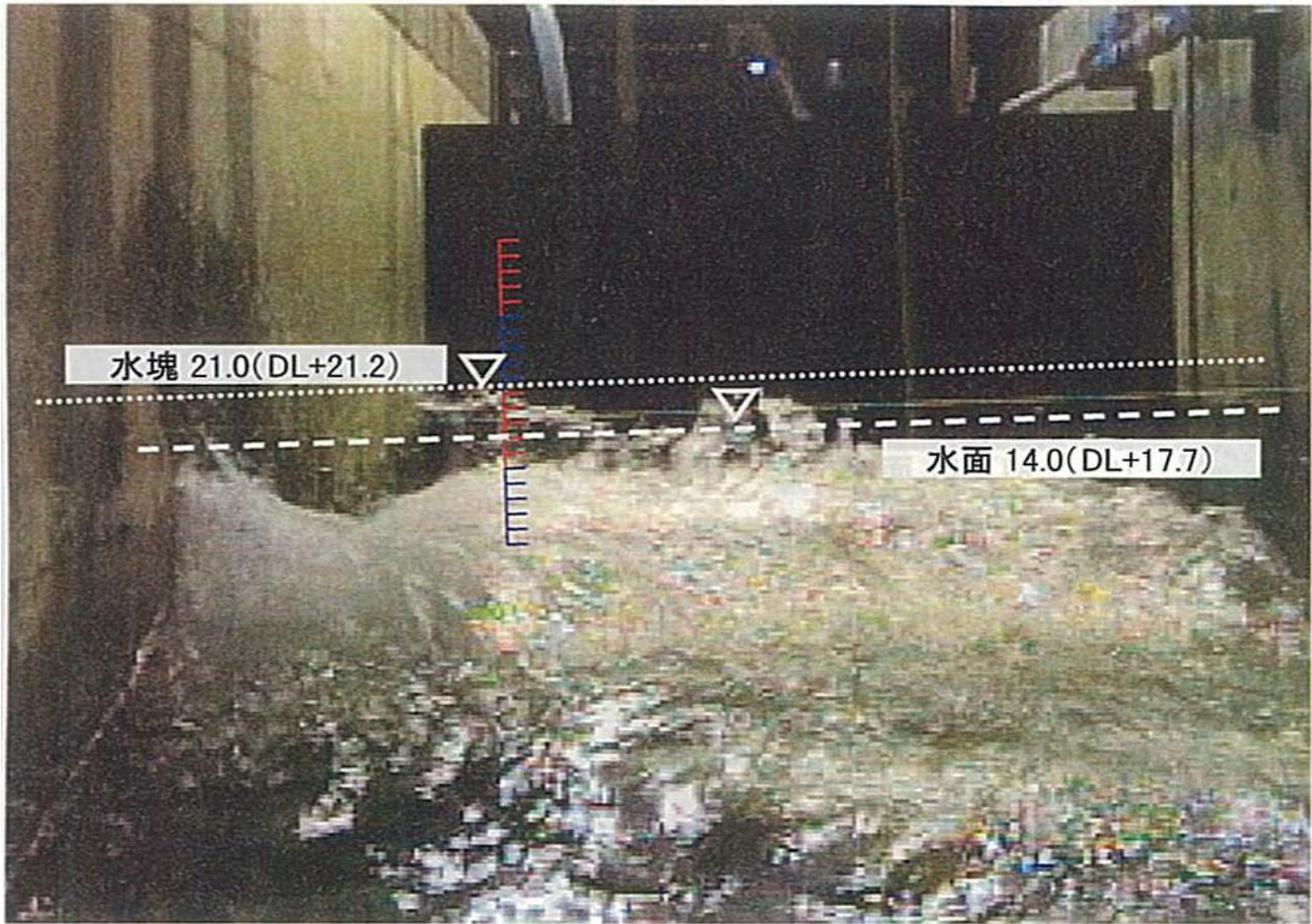
### 波浪ケース

ケース	H (m)	T (s)	波向	観測年度
1	6.9	10.2	45°	1997年
2	8.5	10.7	0°	1998年
3	7.2	8.7	67.5°	2000年

(※) 各波浪観測年度について、台風等の影響によりN空港が閉鎖された期間外における最大波浪条件

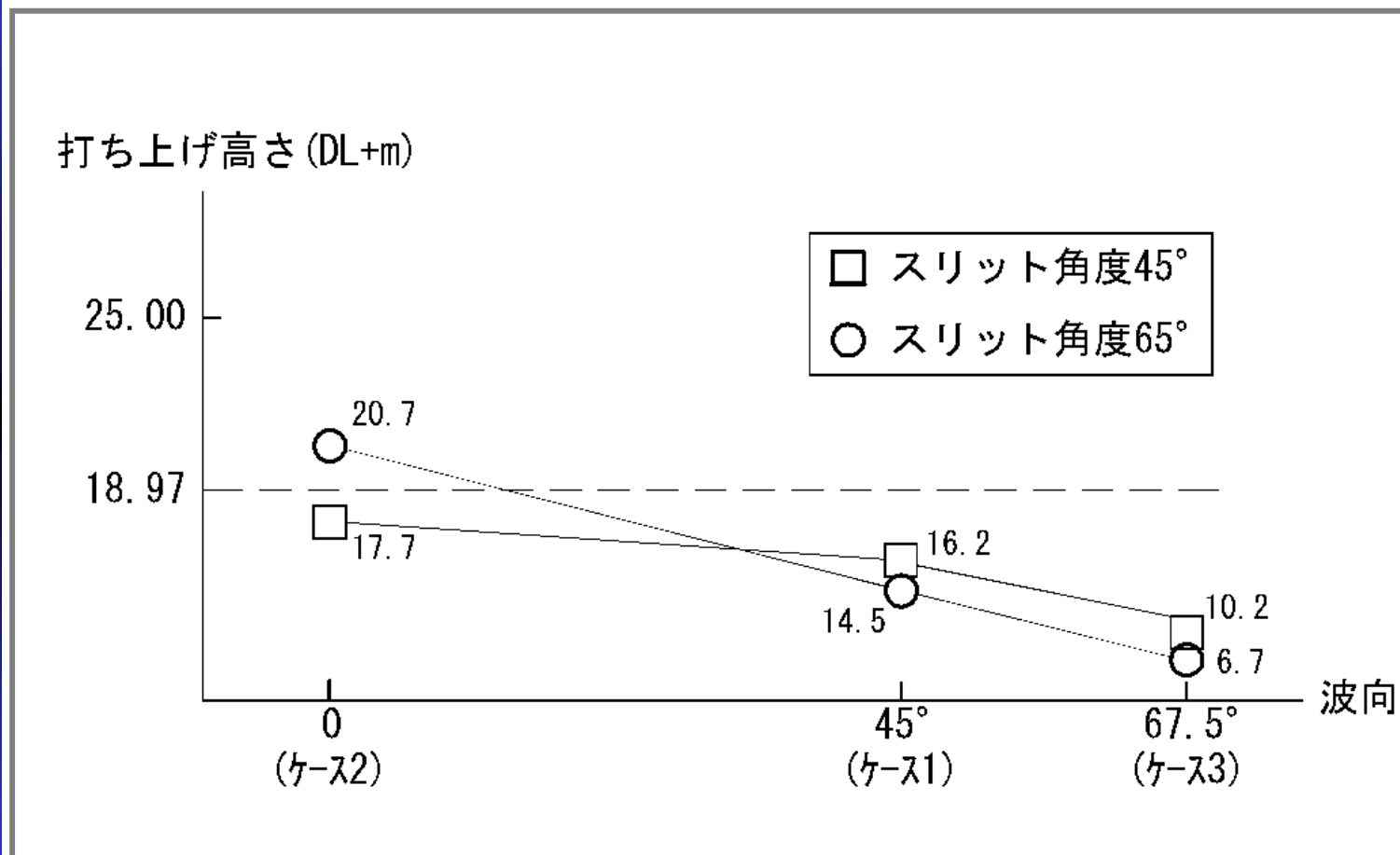
## 2. 開発の経緯 (6/14)

### 打ち上げ高さ



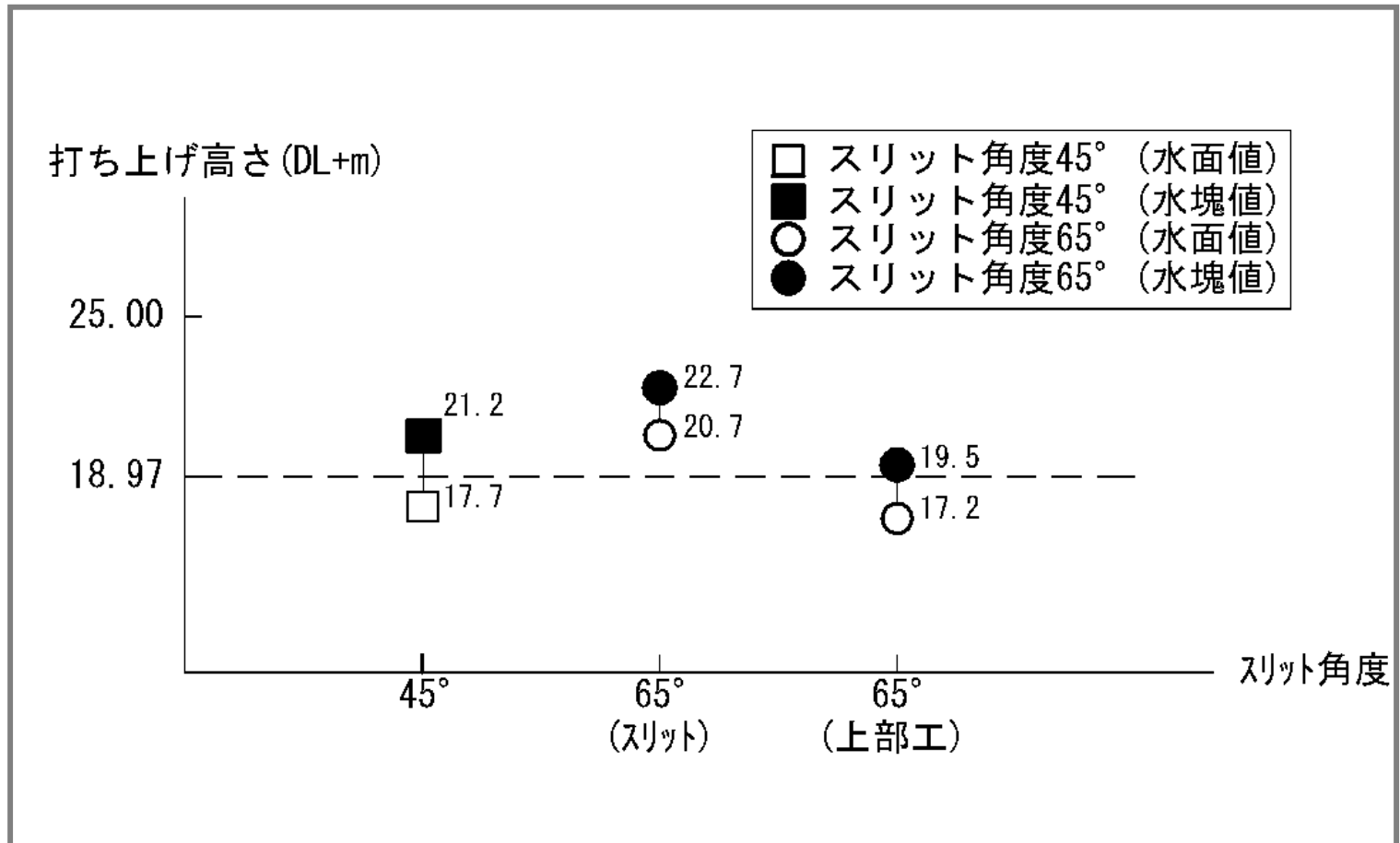
## 2. 開発の経緯 (7/14)

### 波向別スリット角度別打ち上げ高さ



## 2. 開発の経緯 (8/14)

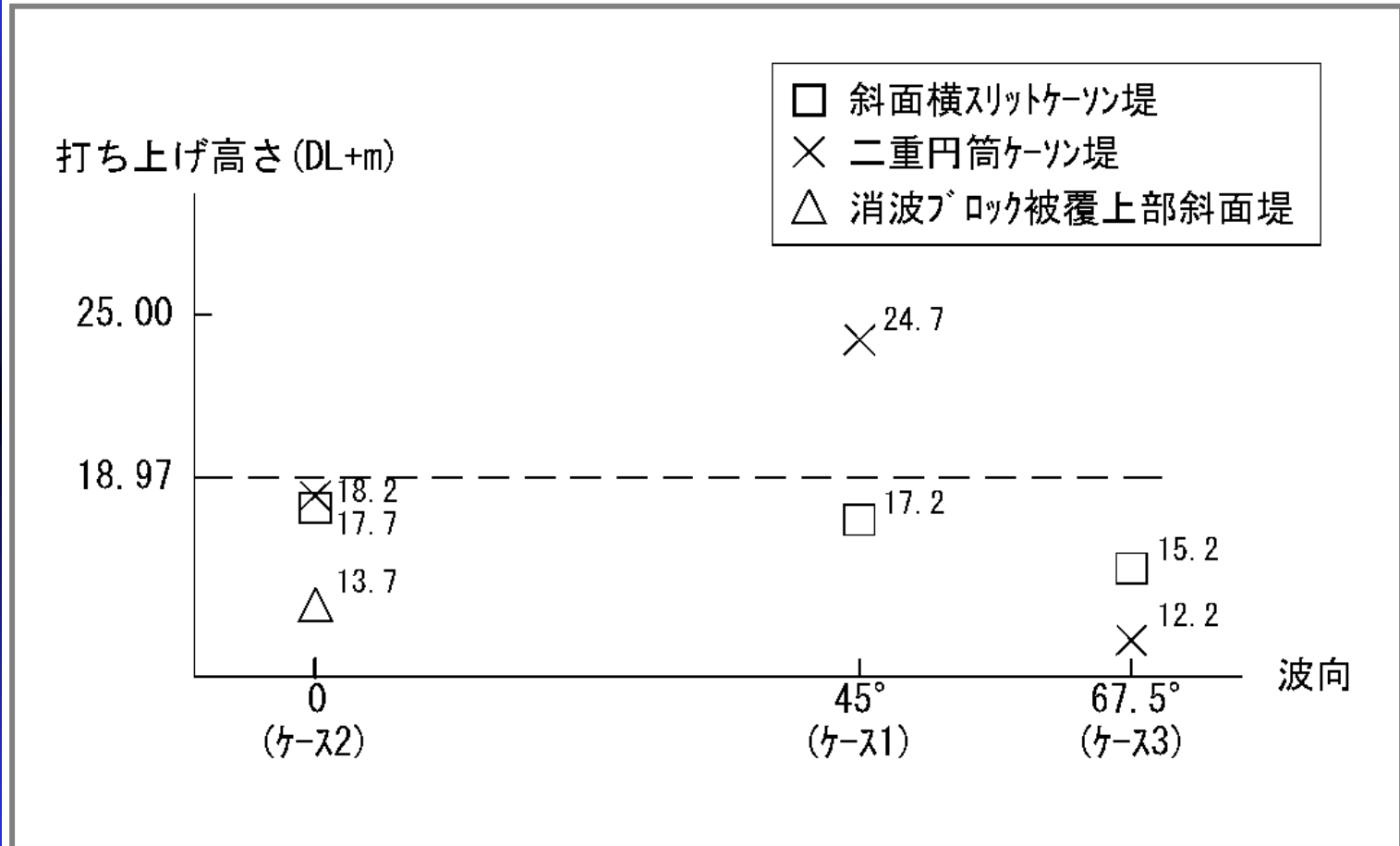
### スリット角度別水面値水塊値別打ち上げ高さ





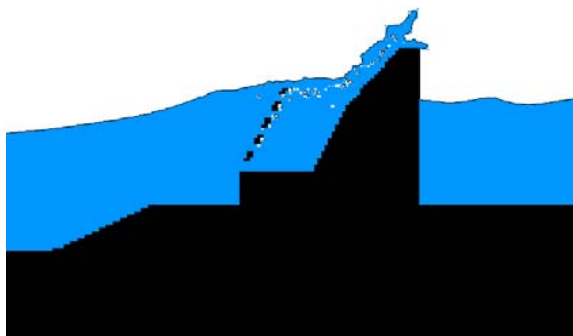
## 2. 開発の経緯 (9/14)

### 防波堤形式別打ち上げ高さ

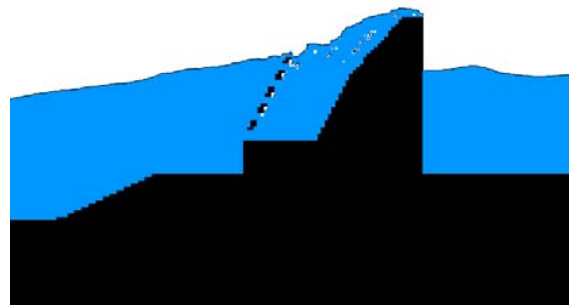


## 2. 開発の経緯 (10/14)

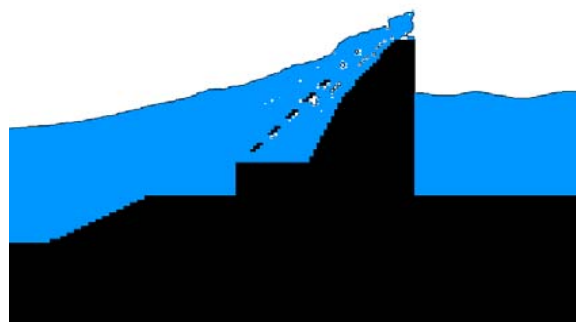
### 数値波動水路(CADMAS-SURF)による打ち上げ高さ計算結果



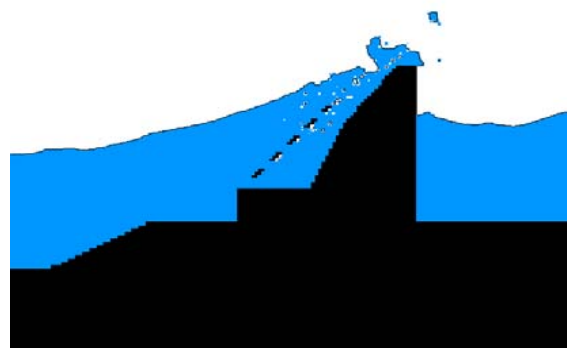
スリット角度65度の水面値



スリット角度65度の水塊値



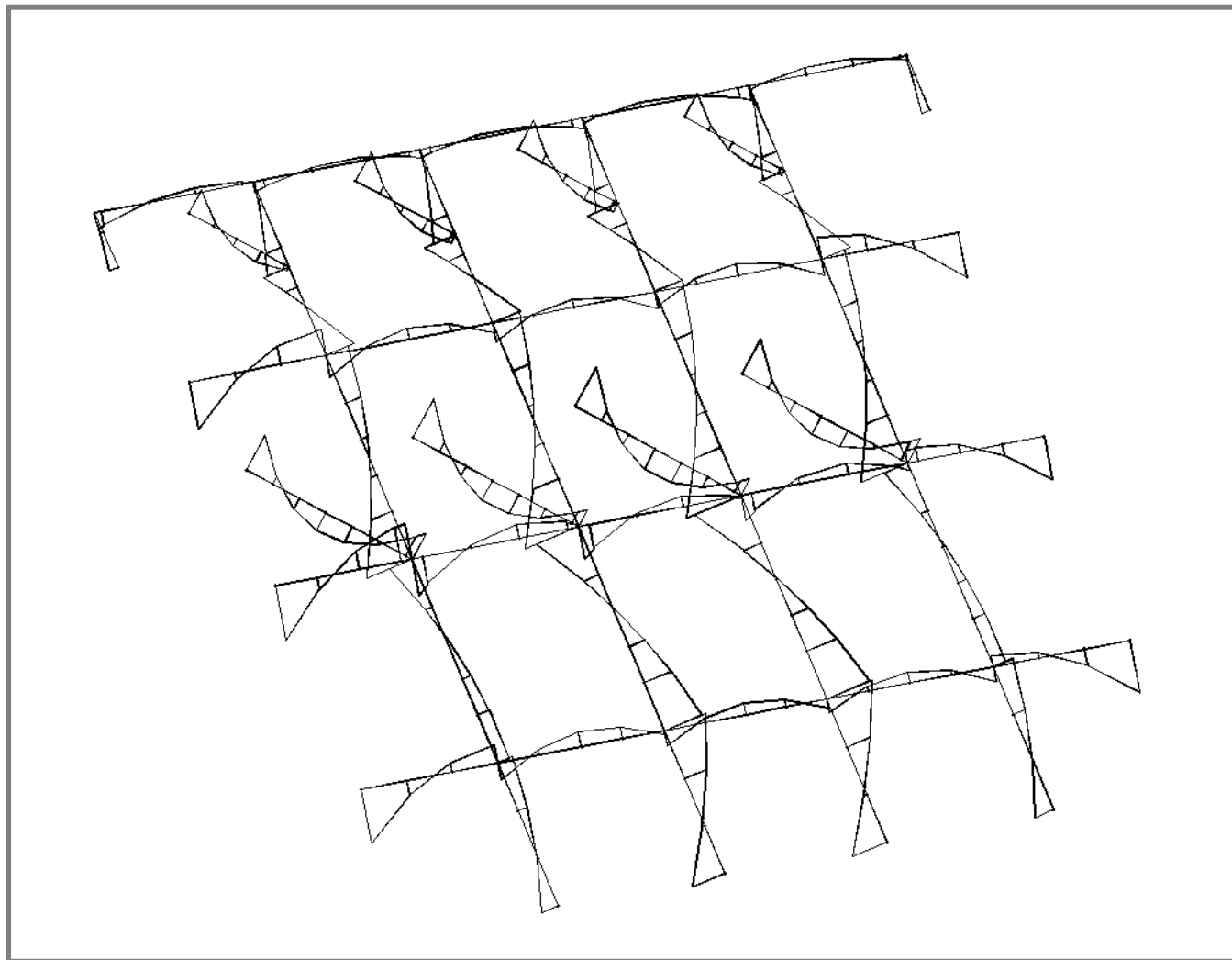
スリット角度45度の水面値



スリット角度45度の水面値

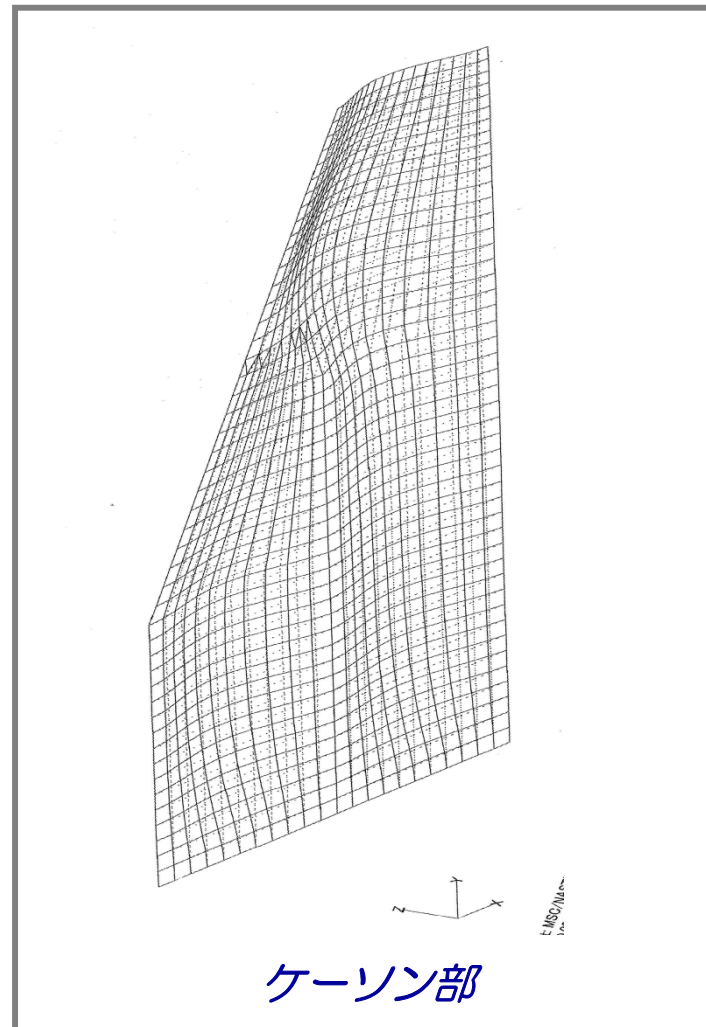
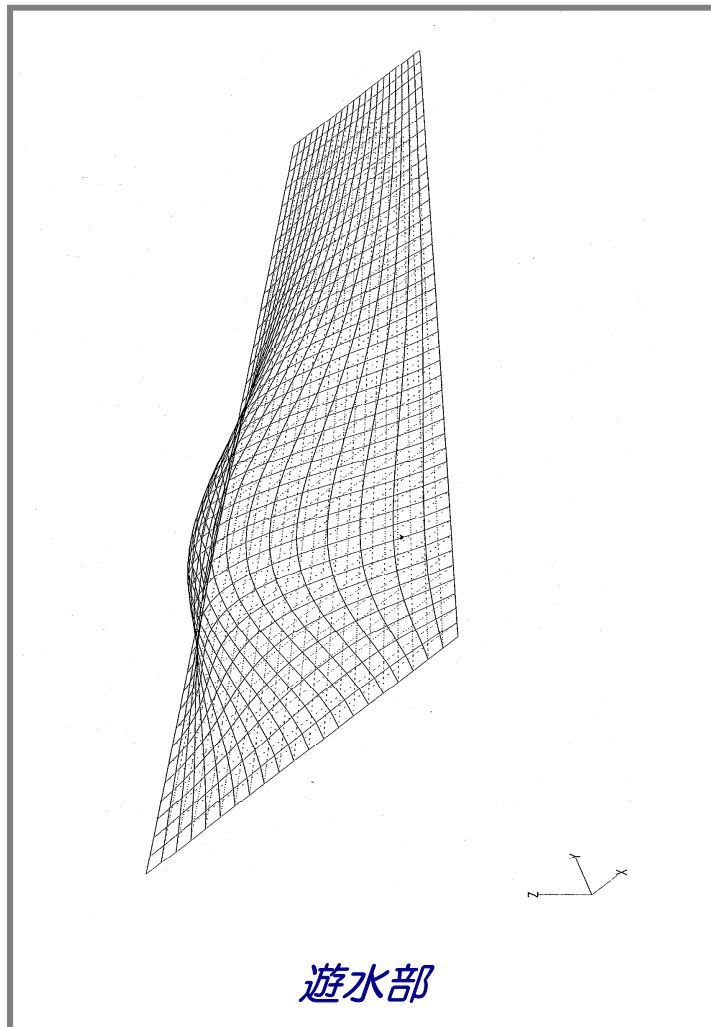
## 2. 開発の経緯 (11/14)

スリット部三次元立体フレーム解析結果 (曲げモーメント)



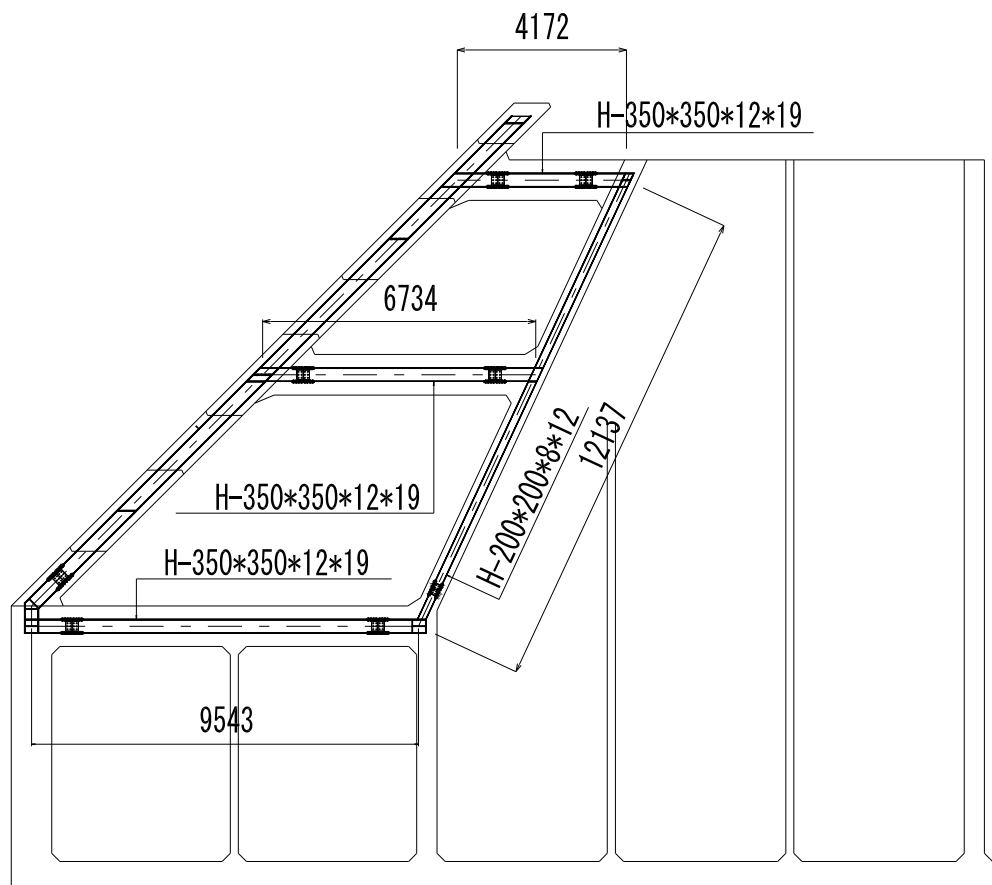
## 2. 開発の経緯 (12/14)

### 異型側壁解析結果 (変形図)



## 2. 開発の経緯 (13/14)

### 鉄骨鉄筋コンクリート採用位置



## 2. 開発の経緯 (14/14)

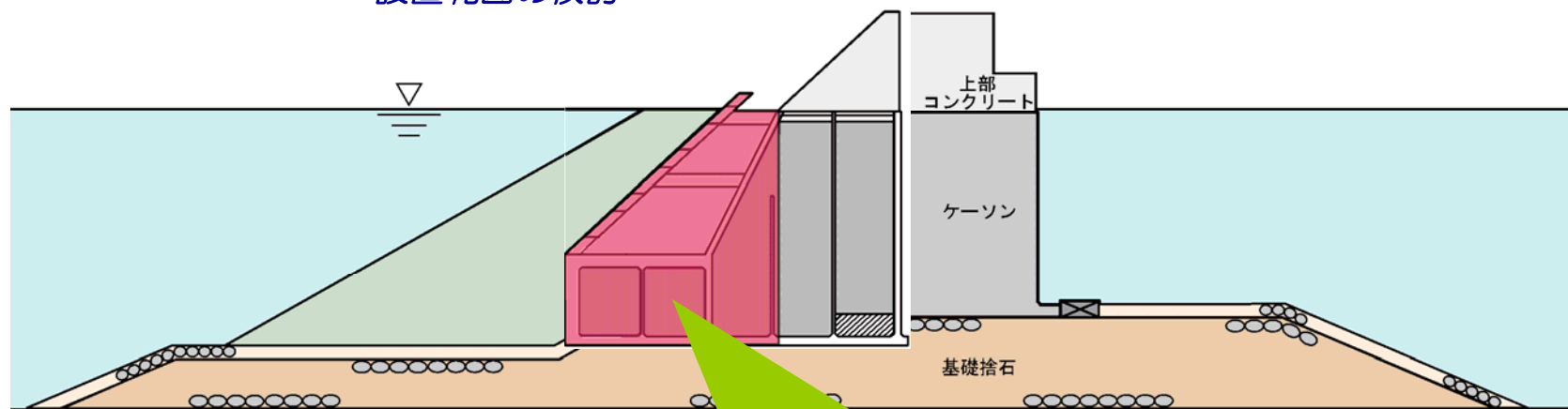
### 消波ブロック被覆上部斜面堤の消波ブロック巻き止め



模型を用いた消波ブロック  
設置範囲の検討



現地の巻き止め状況



消波ブロックの巻き止め範囲

# 3. 開発の結果 (1/1)

項目	構造	構造
	消波ブロック被覆上部斜面堤	斜面横スリットケーソン式上部斜面堤
標準断面図		
概要	<ul style="list-style-type: none"> <li>●上部斜面堤に消波ブロックを設置し、反射波の低減にも留意する構造である。(反射率0.2~0.5)</li> <li>●波高伝達率0.15~0.25</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●前面スリット及び上部工を約45度の傾斜面にすることで打ち上げ高さ低減。一般的な直立消波ケーソン堤より堤体幅や重量の軽減を図ることが可能。(反射率0.555~0.846)</li> <li>●波高伝達率0.25</li> </ul>
長所	<ul style="list-style-type: none"> <li>●消波ブロックを設置することにより反射波を低減することができる。また、波力低減にも効果があり、ケーソン堤体幅を狭くすることができる。</li> <li>●既存の構造形式であるため、施工のノウハウがある。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●ケーソン据付にあたり航空制限表面(進入表面)の規制に留意する必要がなく、昼間施工が可能である。</li> <li>●消波ブロック被覆上部斜面堤にくらべ、消波ブロックを必要としない分、経済性に優れる。</li> <li>●工種が少なく、現場における施工期間が短い。</li> </ul>
短所	<ul style="list-style-type: none"> <li>●本断面で堤頭部(No.0~No.40)まで施工すると、消波ブロック設置が、航空制限表面(進入表面)の規制で夜間施工せざるをえない。(→安全面で問題あり)</li> <li>●消波ブロック設置個数が多いため、現場施工期間が長くなる。また、経済性にも劣る。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●スリット部における部材耐波力を確保するため、耐荷性、耐久性に優れるハイブリット構造等を採用する必要がある。(北海道の事例より、前面スリット部はハイブリット構造を採用。)</li> <li>●消波ブロック被覆上部斜面堤にくらべ反射性能が劣る。</li> </ul>
概算工事費(直工費)	27百万円/m	21百万円/m
総合評価	航空制限下で消波ブロック据付は困難である。	航空制限下で作業可能で、経済性に優れる。ただし、構造寸法等の設定に詳細な検討が必要である。

## 4. 施工時の留意点 (1/31)



温度ひび割れ対策



山留材を使用した支保および足場



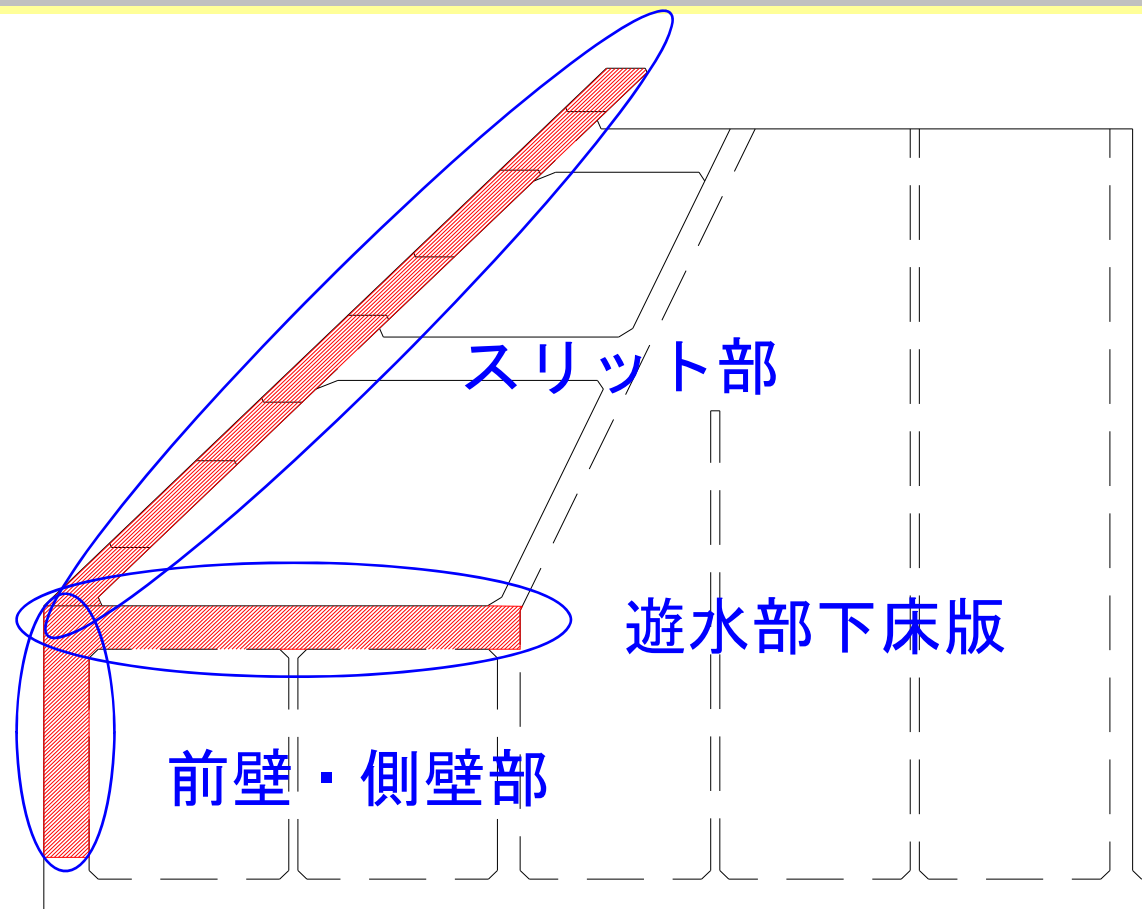
高流動コンクリートの採用





### 温度ひび割れ対策

#### (1) ケーソンの形状の特徴





### 温度ひび割れ対策

#### (1) ケーソンの形状の特徴

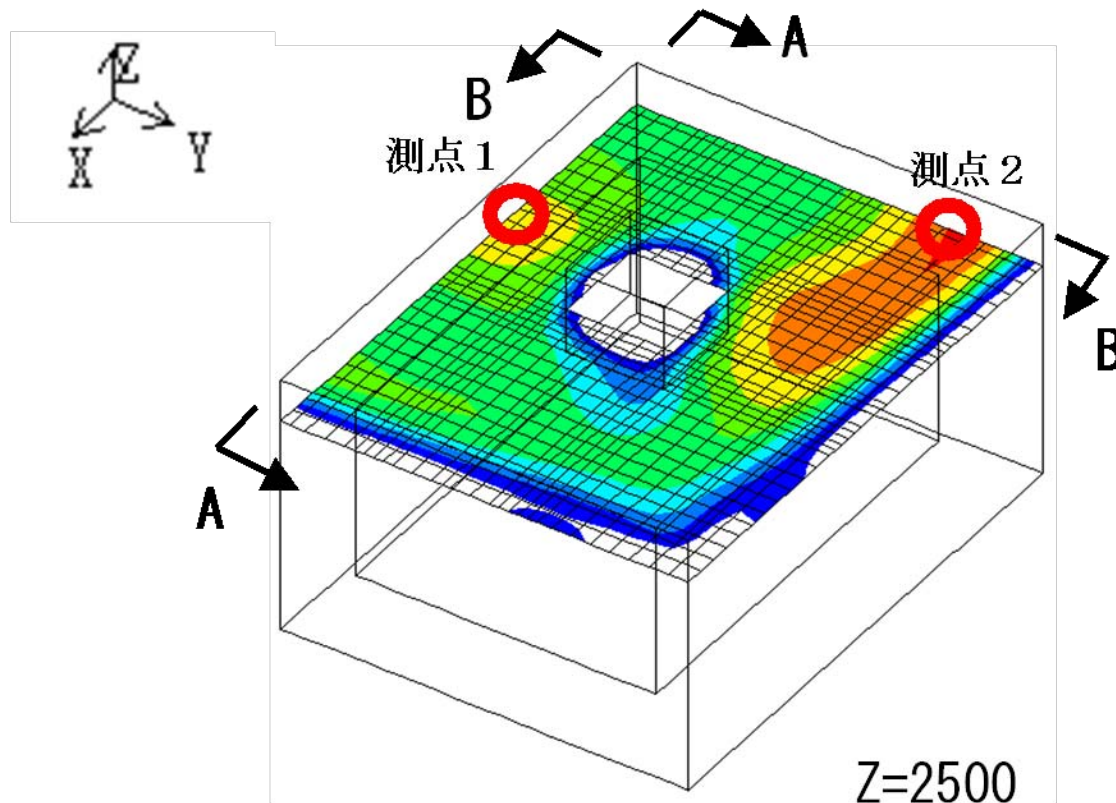
- 部材厚が厚い(最大1.0m)  
(前壁・側壁、遊水部下床版、スリット部)
- 単位セメント量が多い  
(普通con: 337kg/m<sup>3</sup>    高流動con: 318kg/m<sup>3</sup>)
- 施工に先立ち  
ひび割れに関する照査の実施  
→ひび割れ発生確率の高い場合は対策が必要



## 温度ひび割れ対策

(2) 温度応力・温度ひび割れの検討

- 施工に先立ち温度応力解析を実施





### 温度ひび割れ対策

#### (2) 温度応力・温度ひび割れの検討

##### ■ 施工に先立ち温度応力解析を実施

部 位	コンクリート温度		温度ひび割れ指数		備 考
	最高温度	材 令 (打設後)	最小 温度ひび われ指数	材 令 (打設後)	
前壁・側壁	66. 3°C	1日目	1.05	15日目	
遊水部 下床版	69. 1°C	1日目	1.22	7日目	
スリット部	56. 0°C	1日目	1.13	8日目	高流動

## 4. 施工時の留意点 (6/31)



### 温度ひび割れ対策

(2) 温度応力・温度ひび割れの検討

- 施工に先立ち温度応力解析を実施

**1.45を満たしていない**

部 位	コンクリート温度		温度ひび割れ指数		備 考
	最高温度	材 令 (打設後)	最小 温度ひび われ指数	材 令 (打設後)	
前壁・側壁	66. 3℃	1日目	1.05	15日目	
遊水部下床 版	69. 1℃	1日目	1.22	7日目	
スリット部	56. 0℃	1日目	1.13	8日目	高流動



### 温度ひび割れ対策

#### (3) 温度ひび割れの対策

- 温度ひび割れの制御対策
  - ① コンクリート温度上昇を小さくする。  
(単位セメント量の低減、低発熱セメントの利用)
  - ② 発生する温度応力を小さくする。  
(断面を小さくする、**膨張材を用いる**)



# 温度ひび割れ対策

## (3) 温度ひび割れの対策

- 高流動conへの膨張材の添加





### 温度ひび割れ対策

#### (3) 温度ひび割れの対策

- 温度ひび割れの制御対策
  - ①コンクリート温度上昇を小さくする。  
(単位セメント量の低減、低発熱セメントの利用)
  - ②発生する温度応力を小さくする。  
(断面を小さくする、**膨張材を用いる**)
  - ③発生する温度応力に対して抵抗力をつける。  
(**ひび割れ制御鉄筋を配置する**等)



# 4. 施工時の留意点 (10/31)



## 温度ひび割れ対策

### (3) 温度ひび割れの対策

#### ■ ひび割れ制御鉄筋の配置



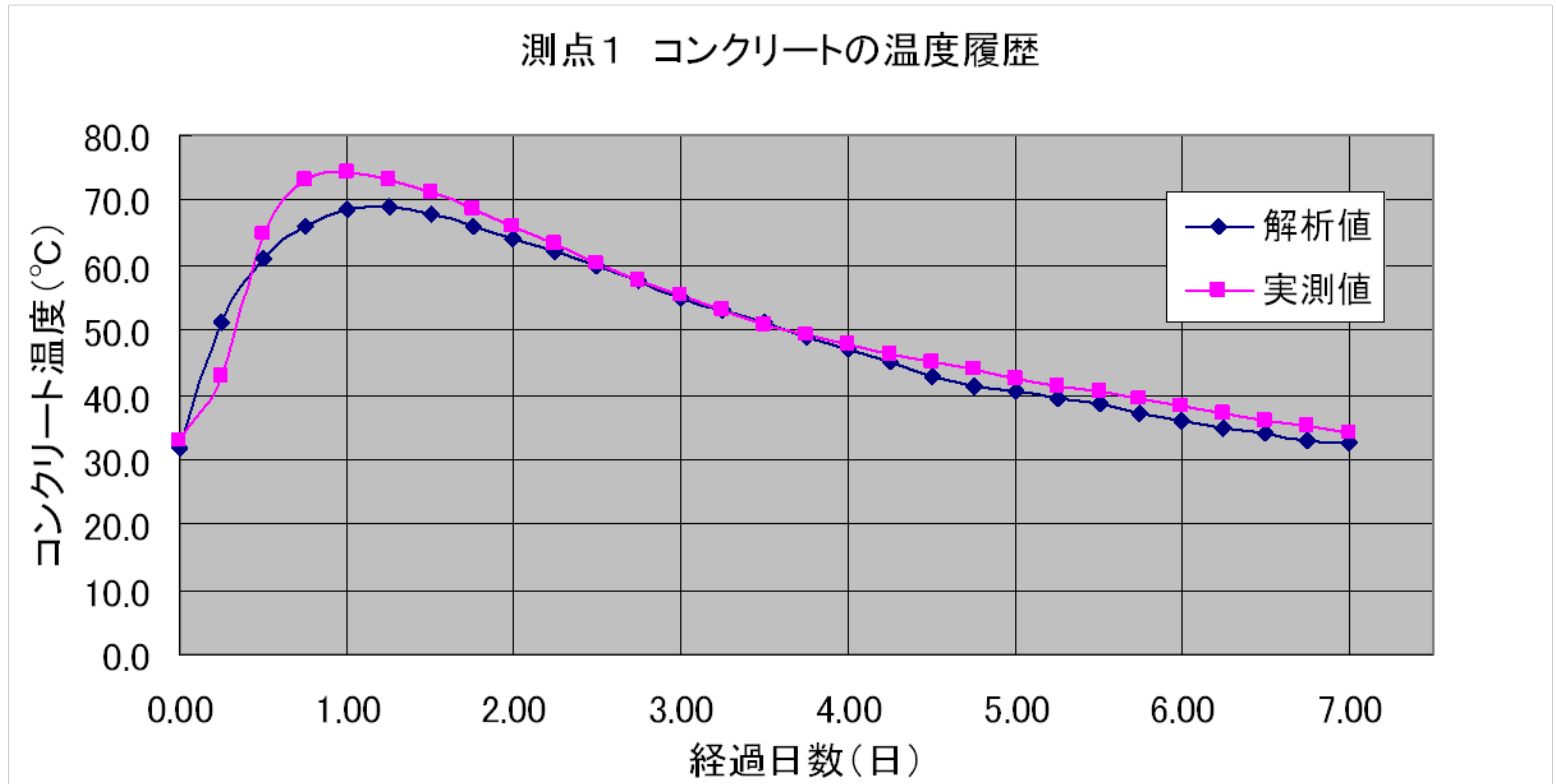
# 4. 施工時の留意点 (11/31)



## 温度ひび割れ対策

### (4) コンクリートの温度履歴

#### ■ コンクリートの温度履歴



## 4. 施工時の留意点 (12/31)



### 温度ひび割れ対策

#### (5) 施工の結果

- 温度ひび割れの発生は無かった。  
→対策の効果あり。
- 要した工事費

工種	数量	単位	単価	金額	備考
鉄筋	2.3	t	68,000	156,400	
(エキストラ)	2.3	t	10,000	23,000	
膨張材	7.5	t	100,000	750,000	
計				929,400	<b>約93万円</b>



### 山留材を使用した支保および足場

#### (1) 山留材導入の経緯

- 山留材の使用は、指定仮設では無い



- 通常の建枠による施工が困難



- 山留材を支保・足場に用いる

## 4. 施工時の留意点 (14/31)



# 山留材を使用した支保および足場

### (1) 山留材導入の経緯





### 山留材を使用した支保および足場

#### (2) 山留材を使用した効果

##### ■ 工期短縮

通常の支保・足場(建枠使用)の場合

1層あたり組立(解体)7(6)名×2日 → 12日  
{13名(組立)+12名(解体)}×3層 = 75名

山留材の支保・足場の場合

1層あたり組立(解体)5名×1日 → 6日  
5名×2(組立・解体)×3層 = 30名

★効果: 工期短縮: 6日 労務: 45名

## 4. 施工時の留意点 (16/31)



### 山留材を使用した支保および足場

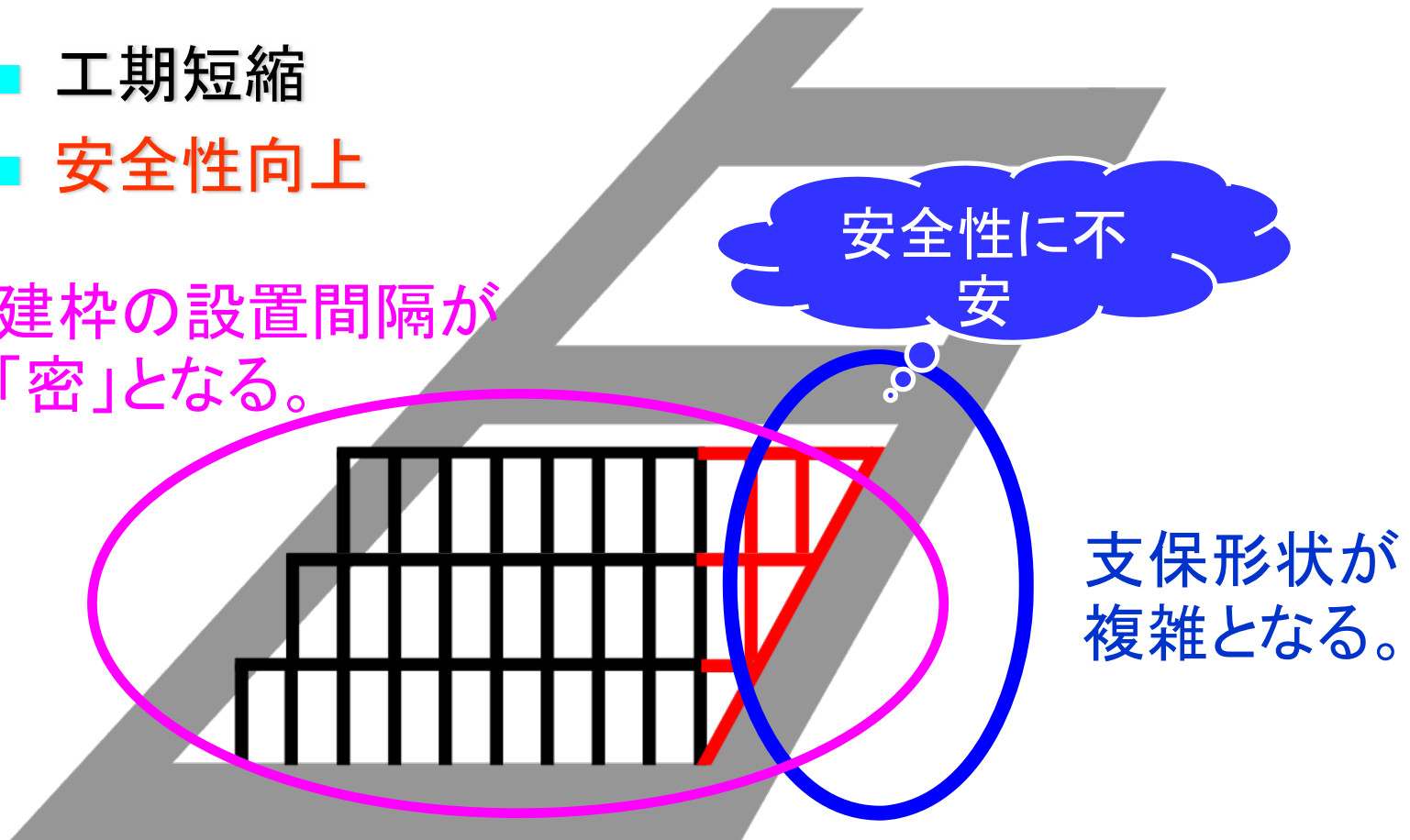
#### (2) 山留材を使用した効果

- 工期短縮
- 安全性向上

建枠の設置間隔が「密」となる。

安全性に不安

支保形状が複雑となる。





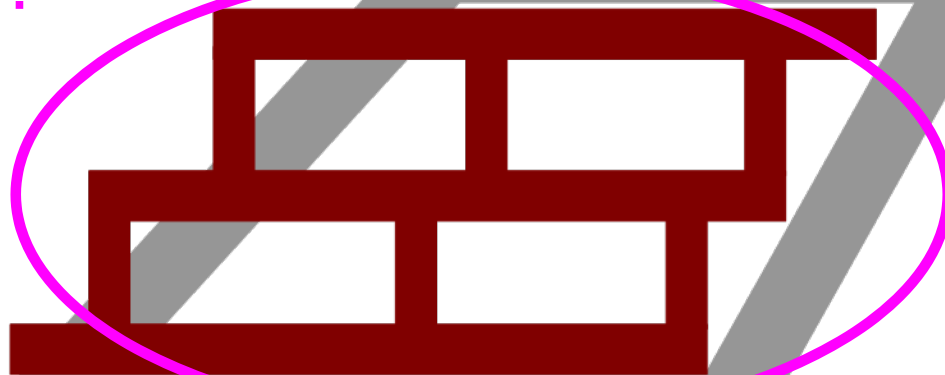
### 山留材を使用した支保および足場

#### (2) 山留材を使用した効果

- 工期短縮
- 安全性向上

少ない部材で強度  
を確保！

安全性向上





## 4. 施工時の留意点 (18/31)



### 山留材を使用した支保および足場

#### (2) 山留材を使用した効果

- 工期短縮
- 安全性向上
- 要した工事費

#### 当初計画

工種	数量	単位	単価	金額	備考
とび工	75	人	20,300	1,522,500	25人×3層

#### 山留材を使用した場合

工種	数量	単位	単価	金額	備考
とび工	30	人	20,300	609,000	10人×3層
山留材	1	式	1,400,000	1,400,000	
計				2,009,000	<b>約50万円</b>



### 高流動コンクリートの採用

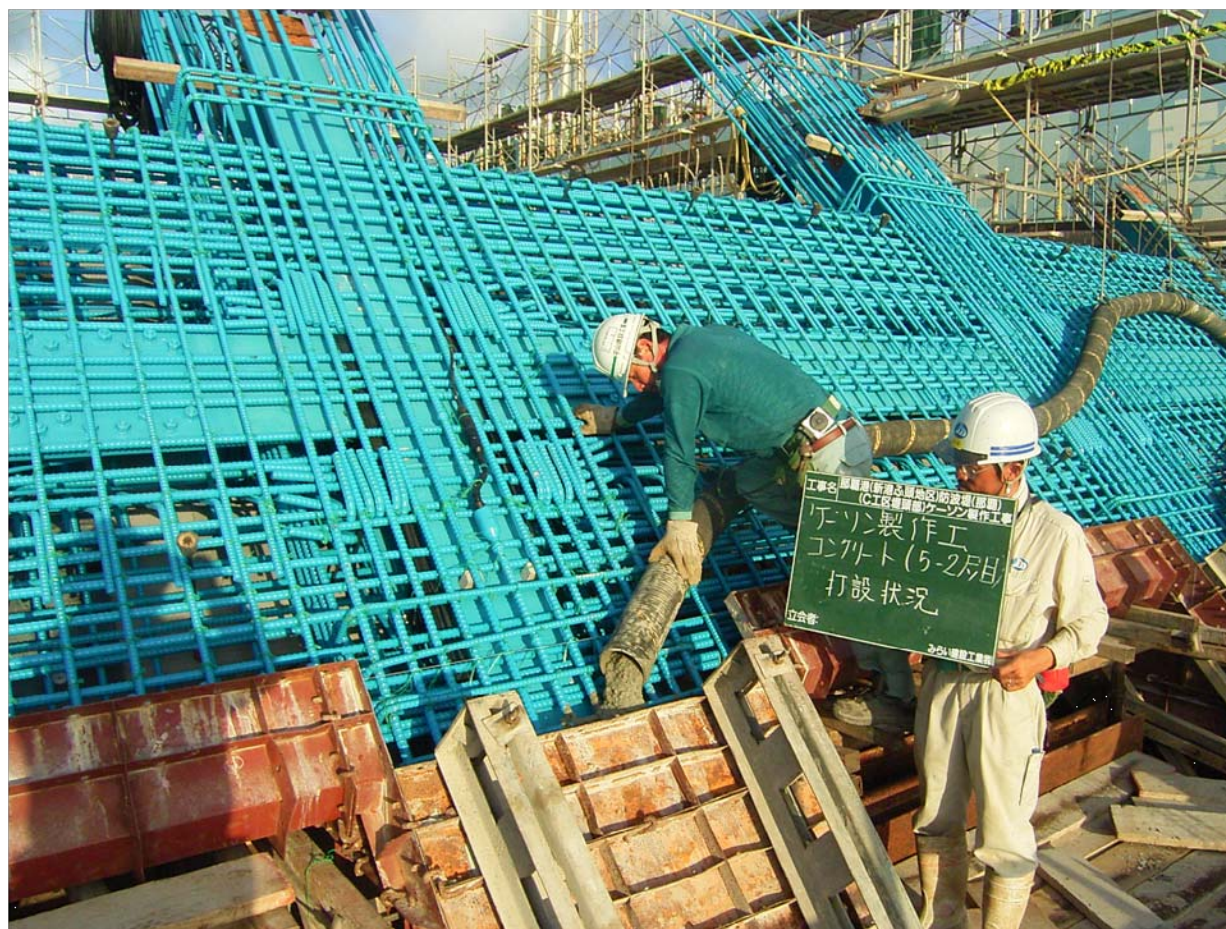
#### (1) スリット部の構造の特徴

- スリット部の角度が45度と傾斜
- 鉄骨鉄筋コンクリート構造を採用



# 高流動コンクリートの採用

## (1) スリット部の構造の特徴





### 高流動コンクリートの採用

#### (1) スリット部の構造の特徴

- スリット部の角度が45度と傾斜
- 鉄骨鉄筋コンクリート構造を採用



- バイブレータによる締固め等が困難である



- 斜面横スリット部に高流動コンクリートを用いる



### 高流動コンクリートの採用

#### (2) 高流動コンクリートの配合

##### ■ 高流動コンクリートの品質基準

品質項目	品質基準
設計基準強度( $\sigma_{28}$ )	24 N/mm <sup>2</sup>
粗骨材の最大寸法	20 mm
スランプフロー	65 ± 5 cm
Vロート試験	5~20 秒
単位容積質量	2,300~2,400 kg/m <sup>3</sup>



## 高流動コンクリートの採用

### (2) 高流動コンクリートの配合

#### ■ 高流動コンクリートの示方配合表

配合種類	空気量	S/m	W/P	W/C	単体量								VA W* %	SP P* %	AE P* %
					水	セメント	膨張材	石灰石微粉末	骨材						
									75 μm 以下	海砂	砕砂	砕石			
(%)					W	C		L s		SU	SS	G			
	4.0	45.7	30.6	55	175	318	30	195	30.4	422	424	760	0.1	1.15	0.004



## 高流動コンクリートの採用

### (3) 高流動コンクリート施工の結果

#### ■ 現場品質管理試験

配合試験



現場試験

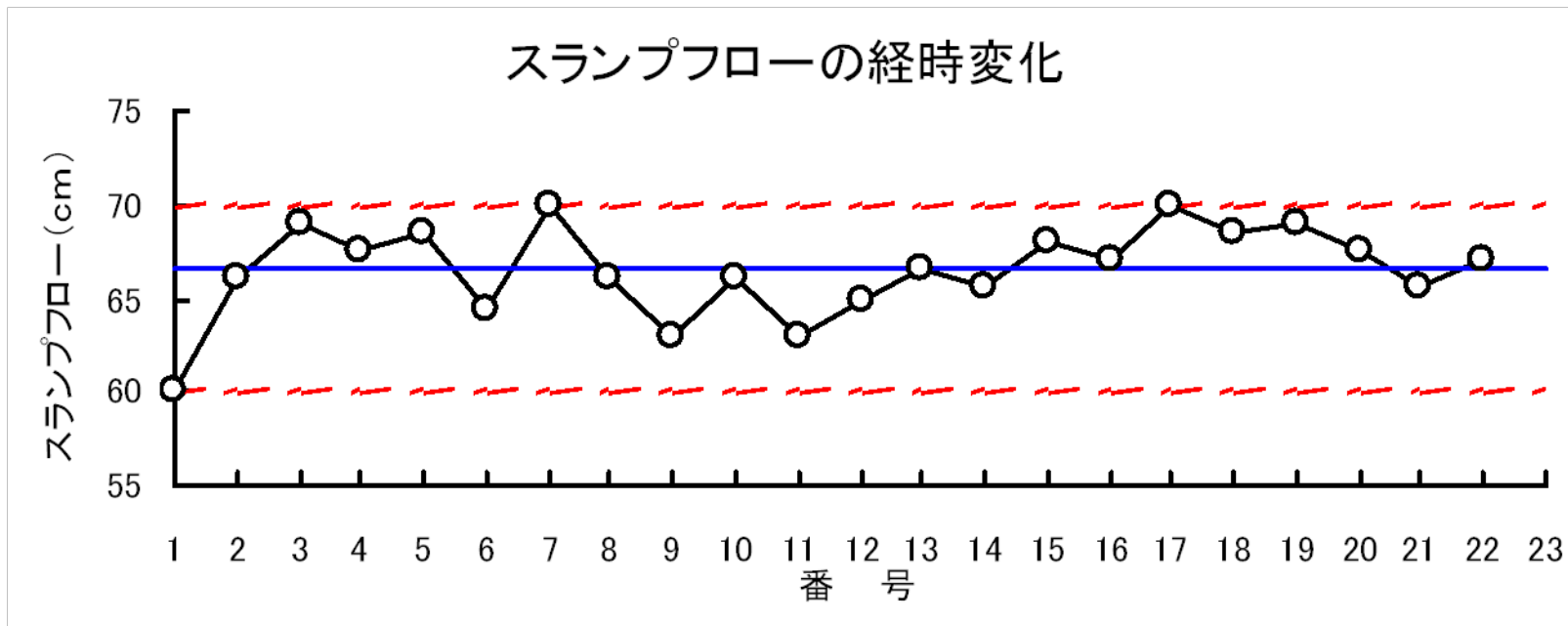




## 高流動コンクリートの採用

### (3) 高流動コンクリート施工の結果

#### ■ 現場品質管理試験の結果①スランプフロー



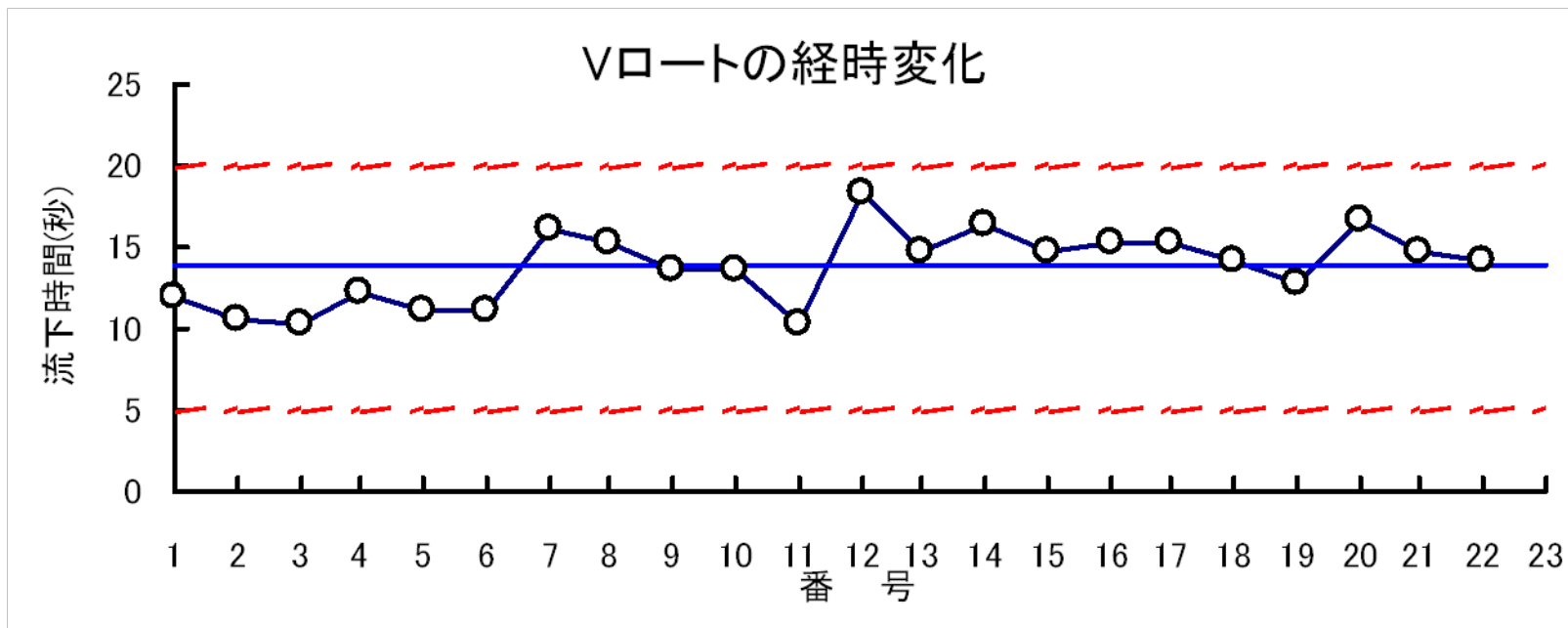




## 高流動コンクリートの採用

### (3) 高流動コンクリート施工の結果

#### ■ 現場品質管理試験の結果②Vロート試験

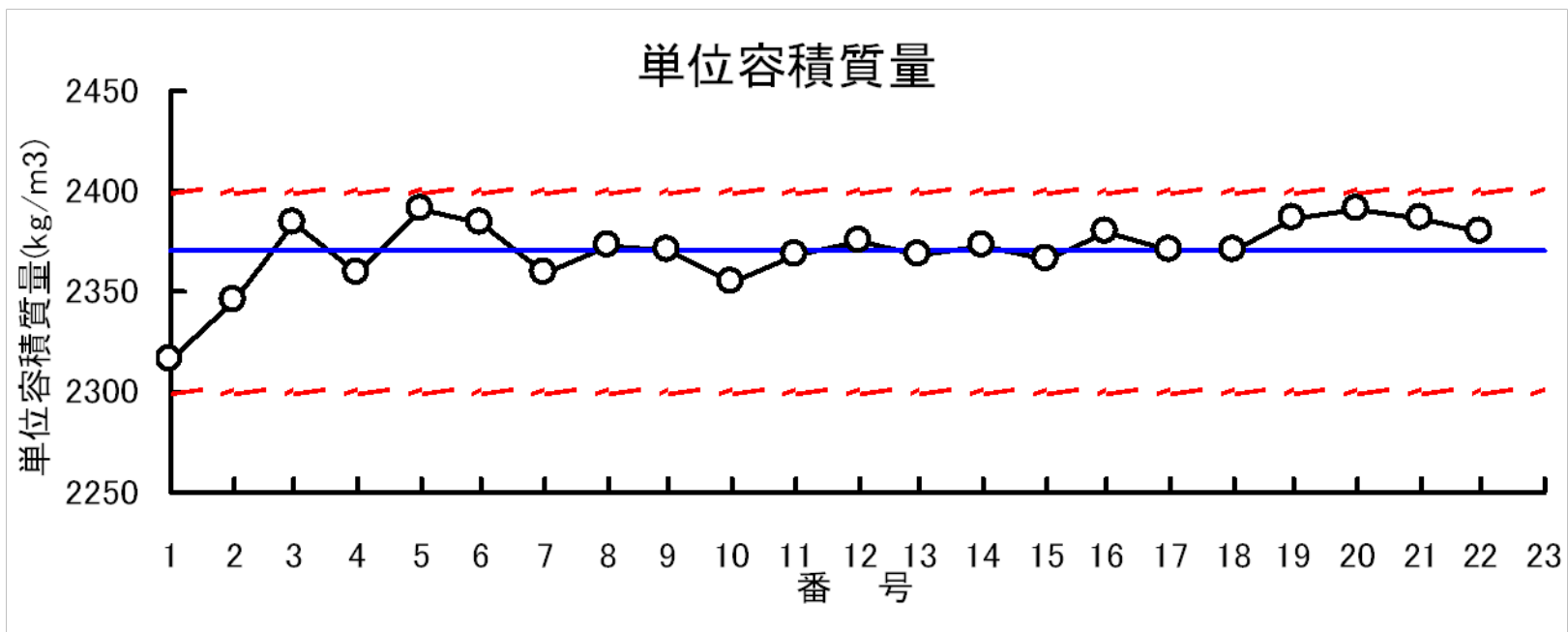




## 高流動コンクリートの採用

### (3) 高流動コンクリート施工の結果

#### ■ 現場品質管理試験の結果③単位容積質量





### 高流動コンクリートの採用

#### (4) 高流動コンクリートによる効果

- スリット部分の打込みが困難な箇所にもコンクリートが充填
- 水和熱抑制型膨張材の混入により、温度ひび割れの発生がなく、品質が向上した。

## 4. 施工時の留意点 (29/31)



### 高流動コンクリートの採用

#### (4) 高流動コンクリートによる効果

#### ■ 高流動コンクリートの工事費

##### 普通コンクリートの場合

工種	数量	単位	単価	金額	備考
27-12-20N	240	m <sup>3</sup>	10,350	2,484,000	

##### 高流動コンクリートの場合

工種	数量	単位	単価	金額	備考
高流動con	260.55	m <sup>3</sup>	26,400	6,878,520	
膨張材	7.5	t	100,000	750,000	
SP	1,623	kg	345	559,935	高性能AE減水剤
増粘剤	45.75	kg	3,300	150,975	
計				8,339,430	△586万円



# 高流動コンクリートの採用

(4) 高流動コンクリートによる効果

- 完成したケーソン(全体写真)



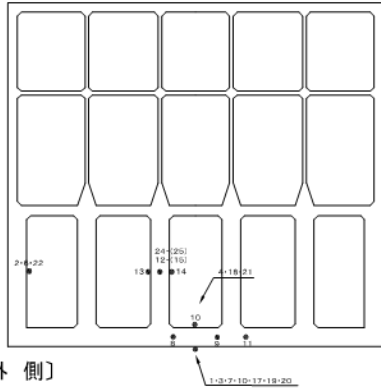


### ま と め

- 温度ひび割れ対策
  - ◆ マスコンクリートの施工には欠かせない
  - ◆ 温度ひび割れ指数の確認は不可欠
  
- 山留材を使用した支保・足場
  - ◆ 工期短種、安全性向上の仮設の事例
  
- 高流動コンクリート
  - ◆ 膨張材を添加しひび割れを制御

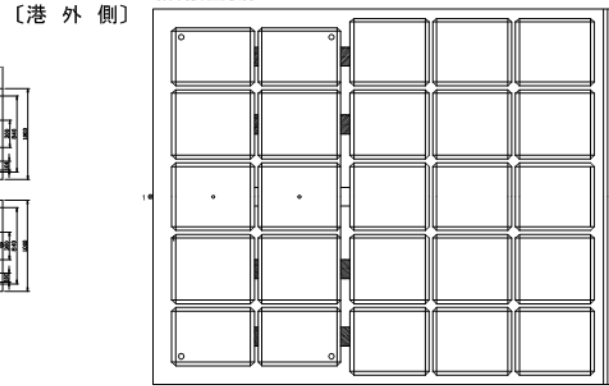
## 計測機器配置 (波圧計)

〔港内側〕 平面図 (1)



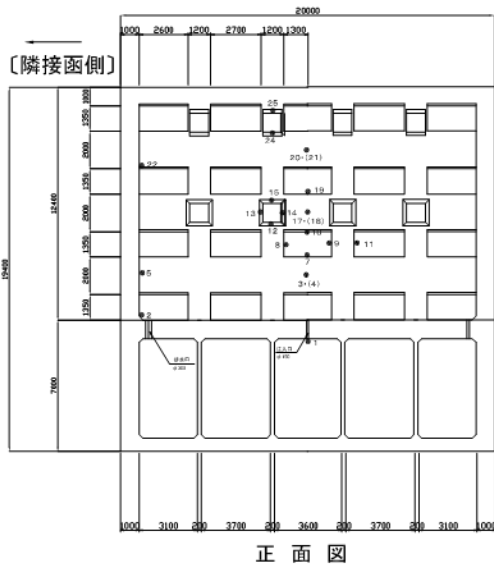
〔港外側〕

〔隣接函側〕 平面図 (2)

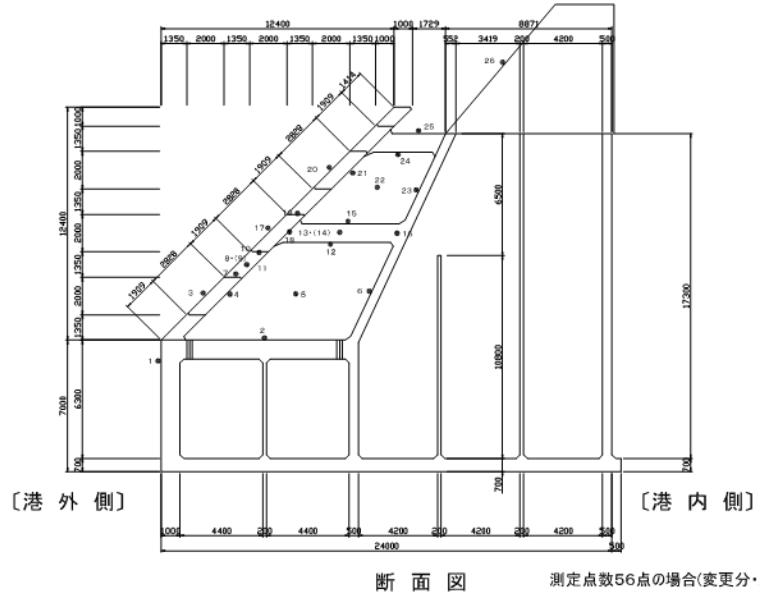


〔港内側〕

凡例		
記号	計器名	点数
●	波圧計	26点
○	波高観測	4点



正面図

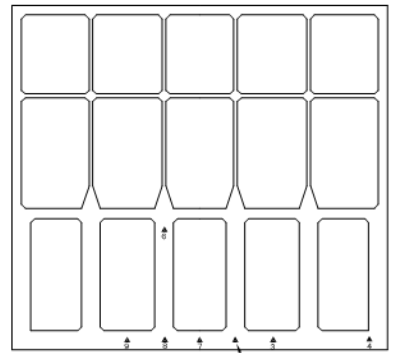


断面図

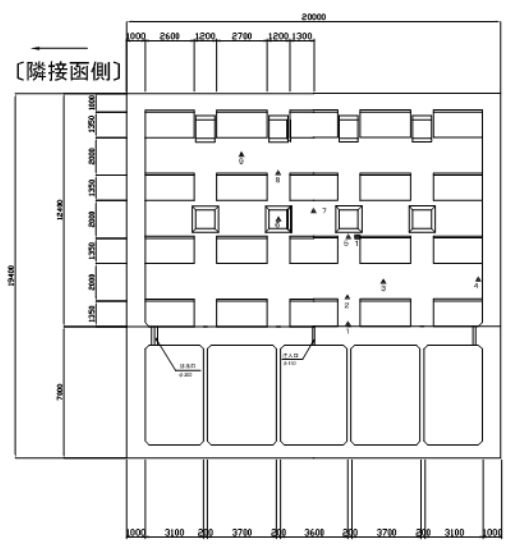
測定点数56点の場合(変更分・港研分)

## 計測機器配置 (鉄筋計・ひずみ計)

〔港内側〕 平面図 (1)

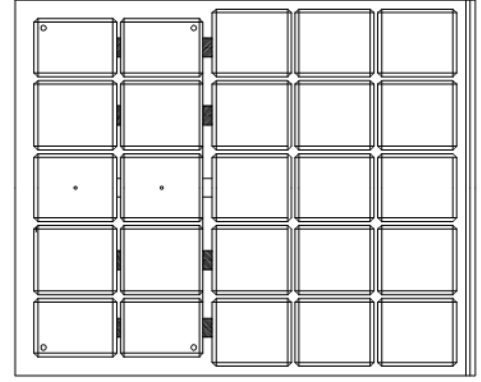


〔港外側〕

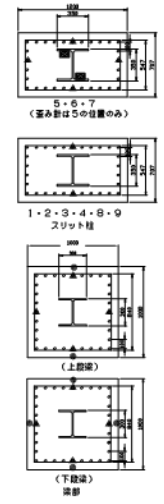


正面図

〔隣接函側〕 平面図 (2)



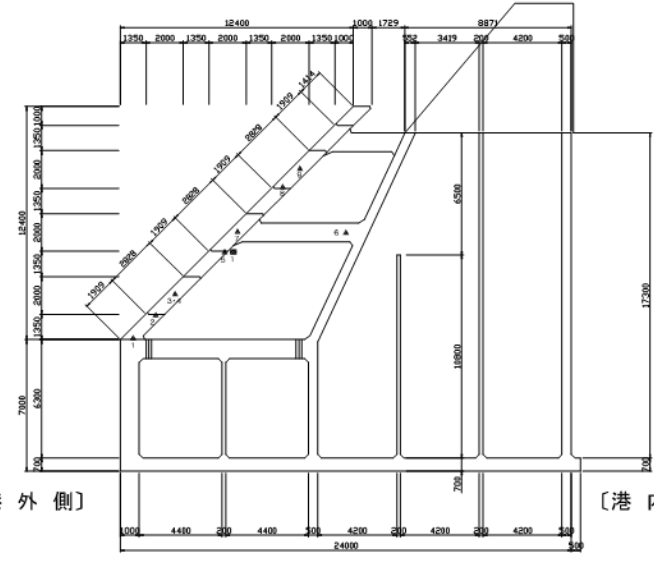
〔港内側〕



凡例

記号	計器名	点数
●	波圧計	26点
▲	鉄筋計 3×4=12 6×2=12	24点
■	歪み計 1×2=2	2点
○	波高観測	4点

〔港外側〕



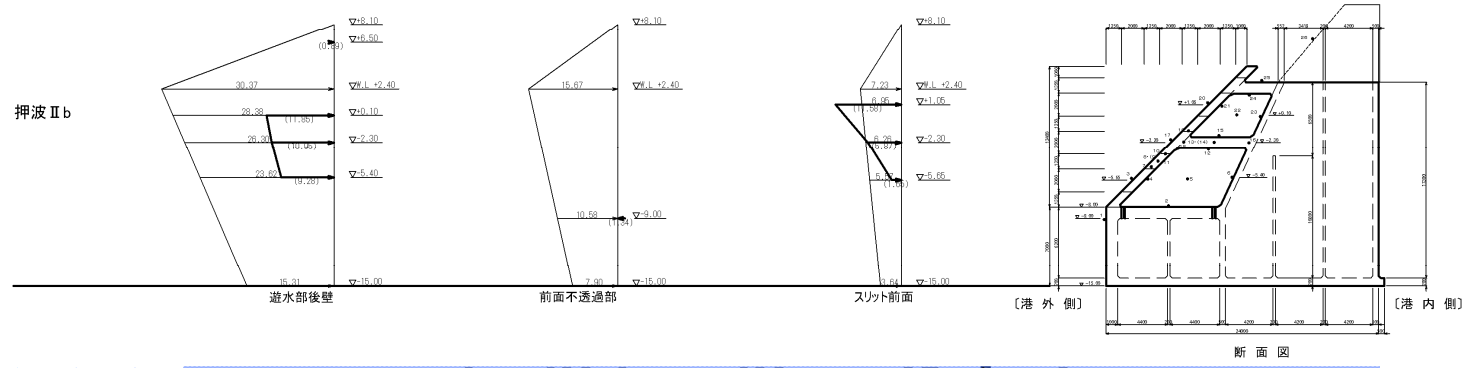
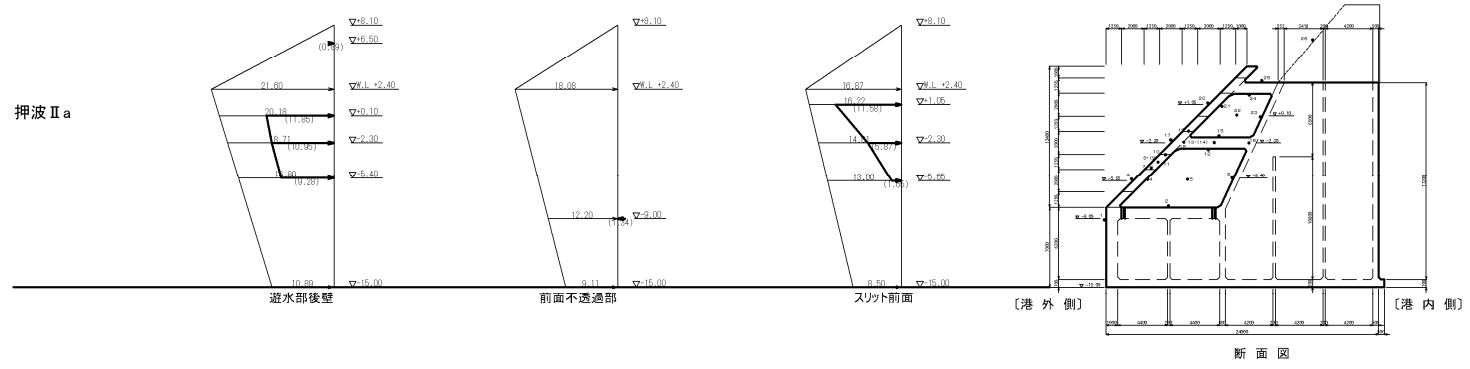
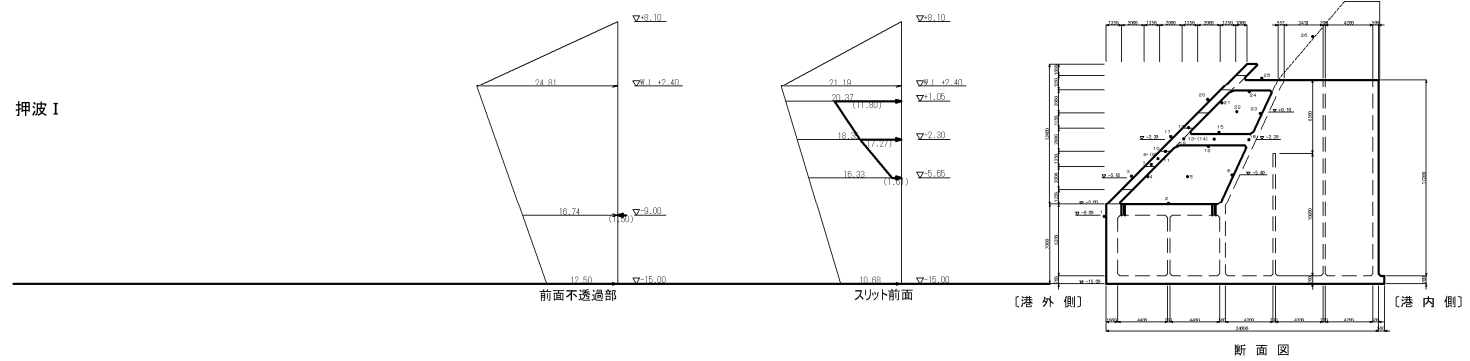
断面図

〔港内側〕

測定点数56点の場合(変更分・港研分)

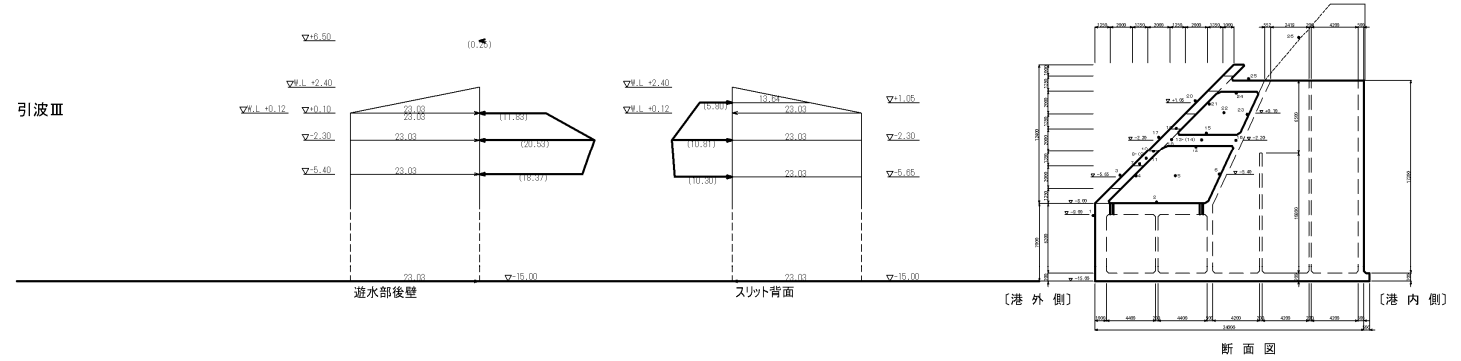
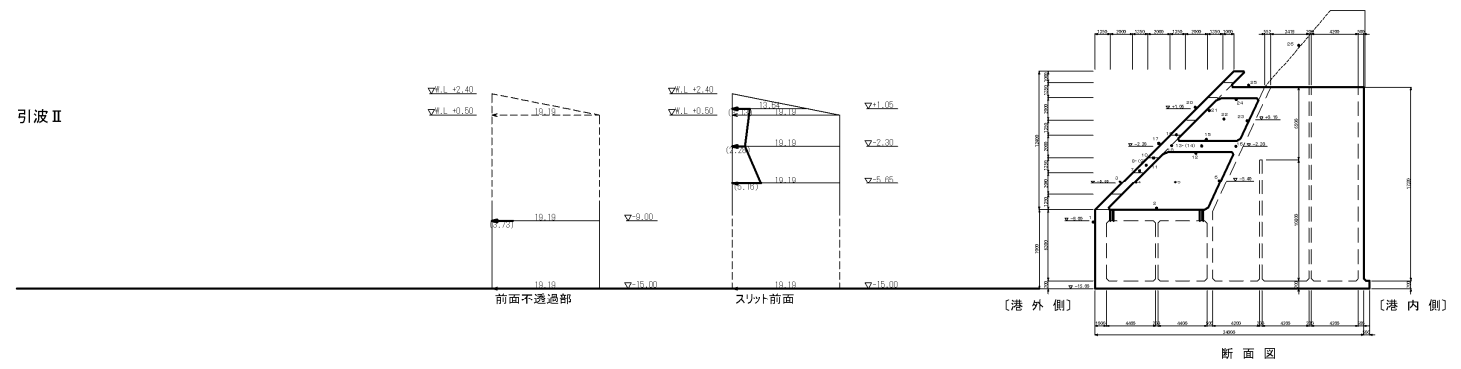
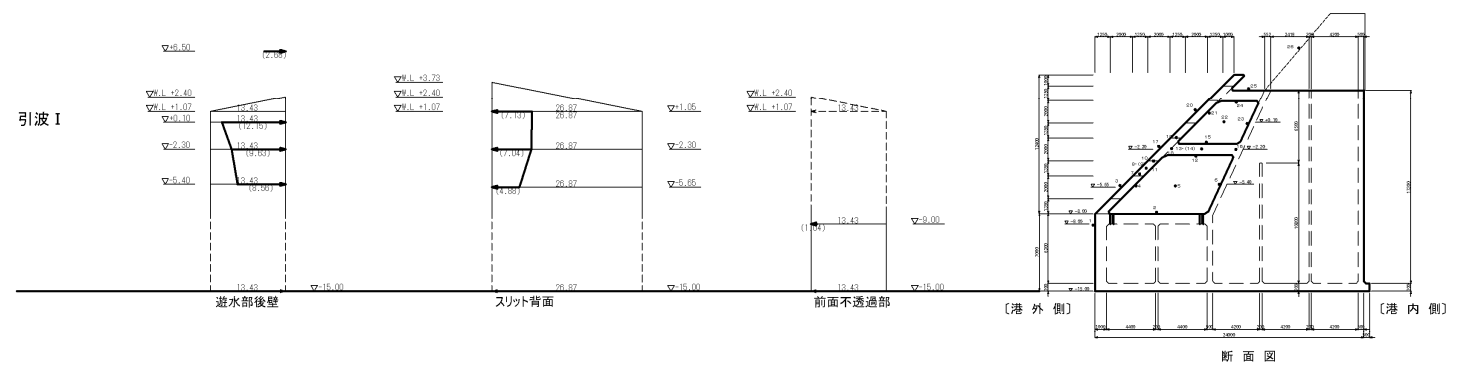


## 同時波圧分布の計測値と観測値の比較 (押波)



**観測値と計測値の乖離が大きい**

## 同時波圧分布の計測値と観測値の比較 (引波)



▶▶▶ **引波Ⅲにおける観測値と設計値の荷重作用方向が逆**

## 断面力の設計値と観測値の比較

検討 ケース	部材名	計器名	M (kNm)		
			観測値	設計値 (2パターン)	
				鉛直波上向き	鉛直波下向き
押波 I	縦梁 2	鉄筋 1-1	-2.509	-211.1	-301.7
		鉄筋 2-1	-1.259	52.3	71.2
		鉄筋 5-1	4.385	-35.4	-60.0
		鉄筋 5-2	6.965	-7.3	-30.3
		鉄筋 8-1	3.252	69.8	90.6
	横梁 2	鉄筋 3-1	7.459	180.5	325.5
		鉄筋 4-1	-0.504	-663.7	-1183.2
		鉄筋 7-1	2.458	-42.0	-67.6
		鉄筋 7-2	9.623	78.7	378.0
	ストラット 部材	鉄筋 9-1	10.794	116.8	404.9
		鉄筋 6-1	-10.824	16.1	-148.8
鉄筋 6-2	鉄筋 6-2	-20.587	38.1	34.0	
	引波 I	縦梁 2	鉄筋 1-1	-1.438	170.5
鉄筋 2-1			-9.418	-47.9	-15.1
鉄筋 5-1			-3.467	39.3	26.5
鉄筋 5-2			-3.691	-6.4	-18.2
鉄筋 8-1			8.701	-20.8	-5.3
横梁 2		鉄筋 3-1	-9.007	-114.8	63.2
		鉄筋 4-1	-3.425	416.6	-211.5
		鉄筋 7-1	-4.473	26.8	11.5
		鉄筋 7-2	13.404	46.3	223.8
ストラット 部材		鉄筋 9-1	-1.497	73.6	208.1
		鉄筋 6-1	-22.841	-39.0	-72.2
鉄筋 6-2	鉄筋 6-2	1.652	3.3	0.9	

設計値に比べて観測値は非常に小さい



『ご清聴ありがとうございました』