南国市5号掩体の調査と補強検討



高知高傳 名誉教授 多类公太三

掩体とは

戦闘機を敵の攻撃から守るための格納庫。掩体壕、掩蔽壕 (エンペイゴウ)、掩壕とも言う。

一般にコンクリート製で、少ない資材で大きな強度が得られるアーチ形状をしており、内部に戦闘機を収納する。

簡易なものは爆風・破片除けの土堤のみで屋根(天井)の無いものもある。

英語ではBunker(バンカー)と呼ばれ、名称上は武装拠点であるトーチカと区別されていない。

陸上自衛隊では「掩体」、航空自衛隊では「えん体」、 運用上は「シェルター」と呼称する。

日本における戦争遺産としての掩体

旧日本軍が第二次世界大戦中に構築した掩体が一部残されている。(利用価値がある、撤去費がかかる)

例:

- 栃木県宇都宮市 旧陸軍宇都宮飛行場 2基 他
- ・東京都 調布飛行場 昭和14年に建設
- ・千葉県茂原市 10基 内1基は市文化財
- 高知県南国市 7基 海軍

その他:

千葉県-「館山市」「柏市」「印西市」 愛媛県-「松山市」 熊本県-「熊本市」 大分県-「宇佐市」 大阪府-「八尾市」 島根県-「米子市」 韓国-「済州島」

など

高知県南国市前浜掩体群(全7基)

形状•用途:

小型6基(幅約20m-奥行11m-高さ5m 練習機白菊用)

大型1基(幅約45m-奥行22m-高さ10m 一式陸上攻撃機用)

〔建設時は有蓋型9基、無蓋型32基の計41基〕

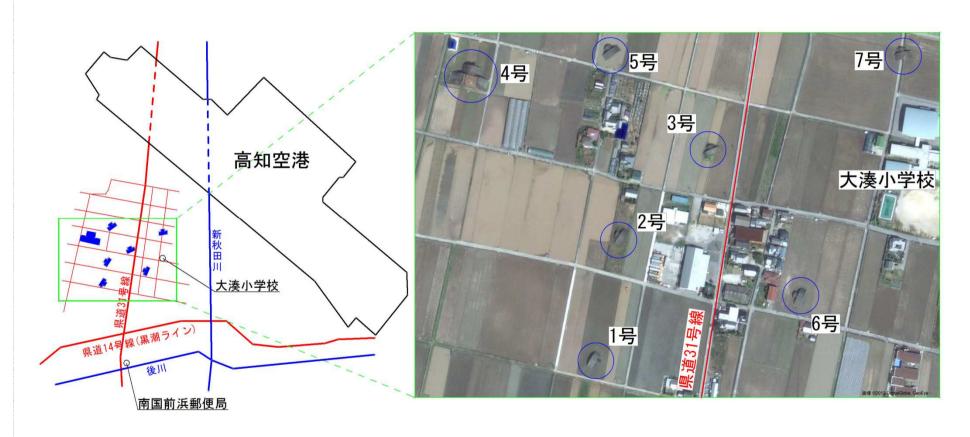
建設年:昭和19年(建設後68年経過)

所属:旧日本海軍

白菊:26機が鹿児島県鹿屋経由南方に出撃、

52名戦死

高知県南国市前浜掩体群所在地



前浜掩体群(高知龍馬空港南西)

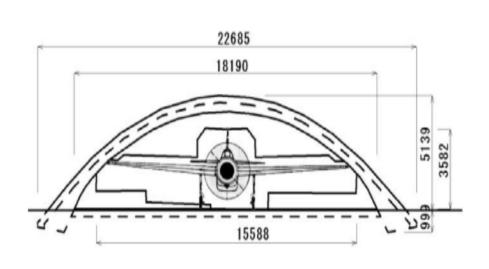
高知県南国市5号掩体

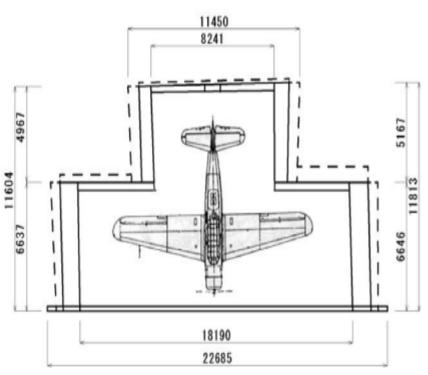






南国市前浜5号掩体及び練習機 「白菊」格納状況





(a)正面図

(b)平面図

「自執」



スペック

• 全幅:14.98m

• 全長:9.98m

• 機体重量:2,569kg

・エンジン:日立 天風21型

空冷9気筒 515hp

• 最大速度: 230km/h

• 航続距離:1,176km

• 武装 7.7mm機関銃×1

爆弾60kg(30kgx2)

• 乗員5名

高知県南国市4号掩体



幅 : 約45m

奥行:約22m

高さ:約10m





4号掩体詳細









「一式陸上攻撃機」「桜花」

- 一式陸上攻撃機

ニックネーム:「一式ライター」「ワンショットライター」「Betty」





• 桜花(11型)、特攻兵器

スペック(一式陸攻22型)

• 全幅:24.88m • 全長:19.63m

·機体重量:8,050kg

・エンジン:火星21型、1,850馬力

• 最大速度: 437.1km/h

• 航続距離:2,500km(爆擊),6,060km(偵察)

• 武装:7.7mm旋回機銃x3,20mm旋回機銃x2

• 爆装:爆弾60kgx12,250kgx4,500or800kgx1

• 雷装:800kgx1

• 乗員7名

スペック

•全幅:6.066m

• 全長:5.12m

• 機体重量:440kg

・エンジン: 固体ロケットエンジン

• 最大速度: 648km/h(急降下突擊時1040km/h)

・航続距離:37km(投下高度によって変化)

・武装:なし

• 爆装:1200kg徹甲爆弾

・出力:推力800kgx3,稼働時間は9秒/本

• 乗員1名

1号掩体(左) 7号掩体(右)









大分宇佐市戦争遺跡 宇佐海軍航空門柱





大分宇佐市戦争遺跡 生残りの門—





大分宇佐市戦争遺跡 電信所、爆弾クレーター









大分宇佐市戦争遺跡 城井1号掩体(その1)—





大分宇佐市戦争遺跡 城井 1 号掩体(その 2) —





*大分宇佐市戦争遺跡 その他の掩体等(その1)—









*大分宇佐市戦争遺跡 その他の掩体等(その2)—









大分宇佐市戦争遺跡 宇佐神宮



5号掩体調査の目的及び調査項目

調査の目的:

南国市前浜地区(龍馬空港南西)に現存するコンクリート 製掩体のうち5号掩体の平和遺産・戦争遺産としての保存 及び平和教育活用のための工学的調査。

調査項目:

- ①形状と変形・沈下の性状把握のための測量
- ②基礎地盤の調査
- ③コンクリートの劣化状況の調査及び鉄筋探査

これらの調査結果に基づき可能な補修補強設計を実施。

調査の方法

測量:トータルステーションによる平面測量

地質調査:スウェーデン式貫入試験

コンクリート調査:

コンクリートその他の外観調査

→ひび割れ、漏水、遊離石灰、浮き・豆板 などの目視観察

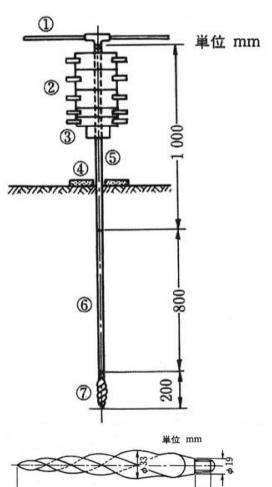
・コンクリート強度

→反発度法(シュミットハンマーテスト)

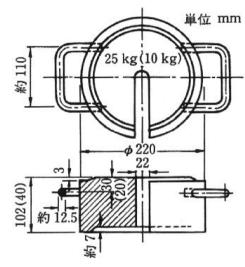
鉄筋探査:電磁波レーダー法による鉄筋位置の確認

<u>コンクリートの配合</u>:硬化コンクリートの配合試験法

スウェーデン式貫入試験



200(全長で1回の右ねじれ最大径33)-



- ①ハンドル
- ②おもり
- ③載荷用クランプ
- 4押えプレート
- ⑤継足しロッド
- ⑥スクリューポイント連結ロッド
- ⑦スクリューポイント

標準貫入試験換算N値

【粘性土】3.0Wsw + 0.05Nsw

【砂質土】2.0Wsw + 0.067Nsw

【礫質土】2.0Wsw + 0.067Nsw

ここに、

Wsw:荷重(kN)おもりの重さ

Nsw:1m**当りの半回転数(回**)

(半回転を4倍した計算値)

スウェーデン式貫入試験状況



試験状況

コンクリート強度試験(反発度法)





計測器 (シュミットハンマー)

計測状況

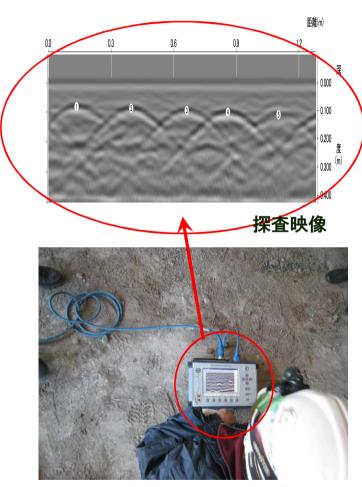
鉄筋探査(電磁波レーダー法)



電磁波レーダー試験機

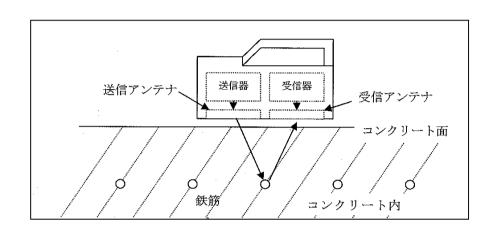


ピックアップ移動状況



鉄筋探査映像

電磁波レーダー法による鉄筋探査(原理)

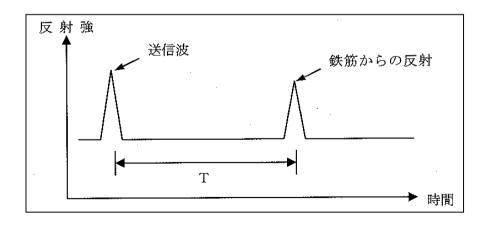


$$V = \frac{C}{\sqrt{\epsilon_{\gamma}}} \qquad (m/s)$$

ここに、

C:真空中(空気中)の電磁波の速度(3x108m/s)

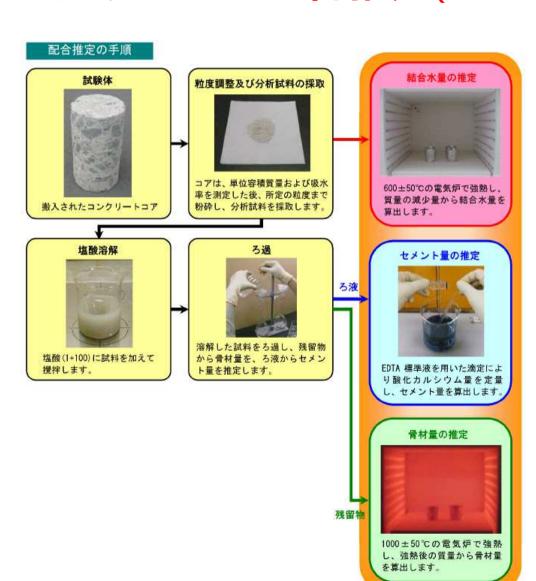
ε_ν: コンクリートの比誘電率(乾燥:4~12,湿潤:8~20)



$$D = \frac{1}{2} VT \qquad (m)$$

反射波形の例

(社)セメント協会 「硬化コンクリートの配合推定(セメント協会法)」



コンクリートの配合試験状況(その1)



試料の粗粉砕(ジョー・クラッシャー)



試料の微粉砕(ディスク・ミル)



ig.loss(600° C)



ig.loss(1000 $^{\circ}$ C)

コンクリートの配合試験状況(その2)



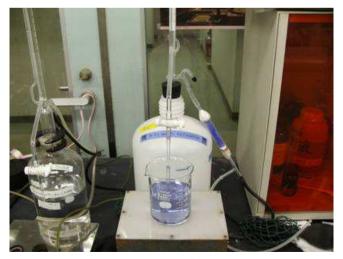
試料の分解



insol.(ろ過)

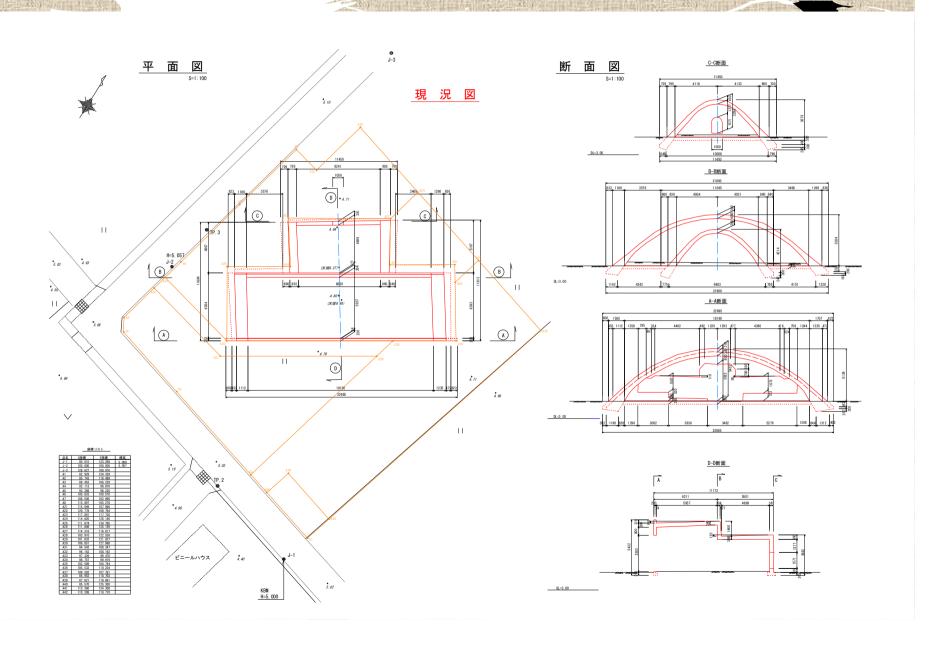


insol.(強熱)

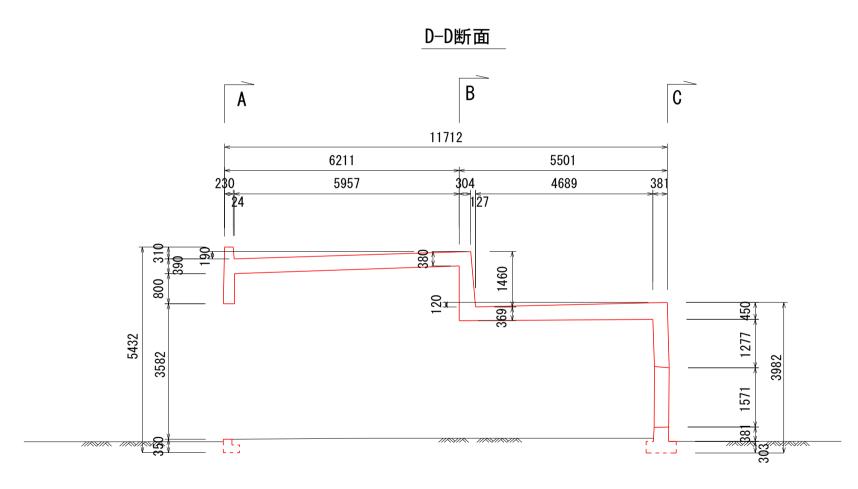


CaOの定量



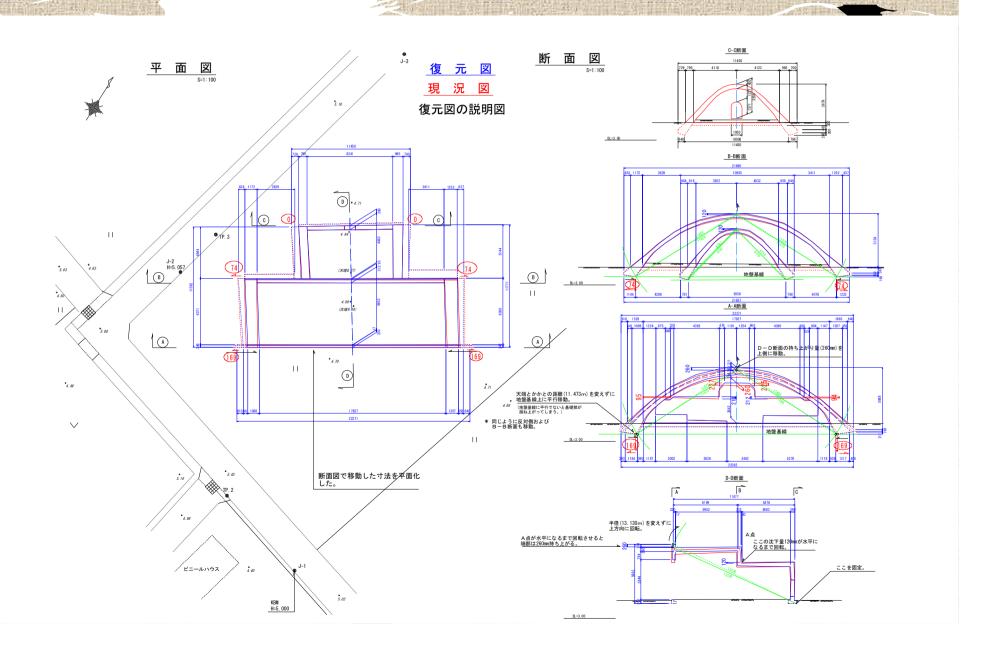


測量図(D-D断面拡大図)



DL=3.00

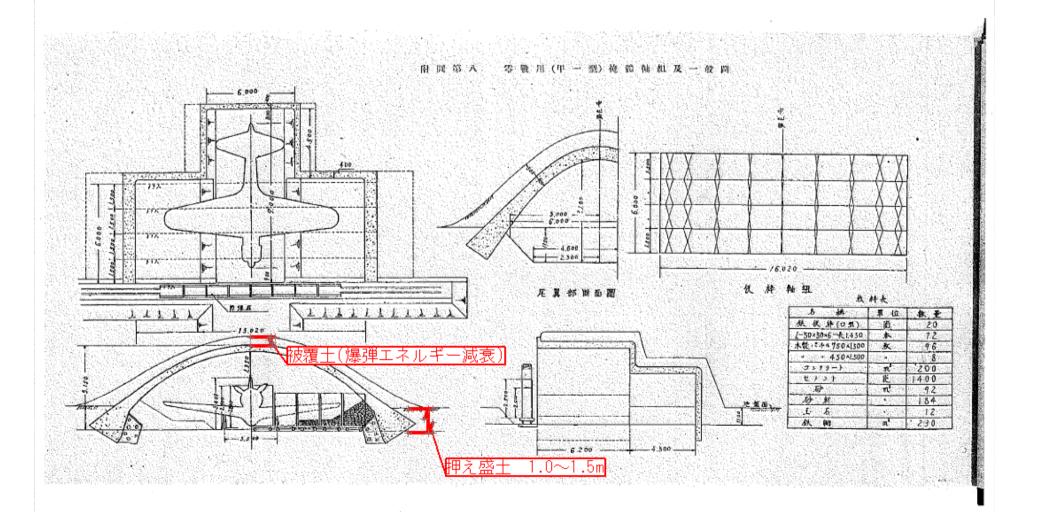
現況図と復元図



測量調査結果及び測量に関する評価

- ① 平面的にも断面的にも5号掩体は整った形に出来ていない。 建設精度を要求していなかった上に短工期仕上げが要求された ためと推察される。
- ② D-D断面より掩体前面中央は極度に垂れ下がっている。 D-D断面より部材角(垂れ下がりの角度)は約1/40であり、 一般的な構造物であれば崩壊している数値である。
- ③ 前部大アーチのレベルを後部小アーチ後面のレベルまで 持ち上げて復元した場合の復元図と現況図の比較より、 前面中央の下がり及び前部大アーチの両端の股開きがおおきい。

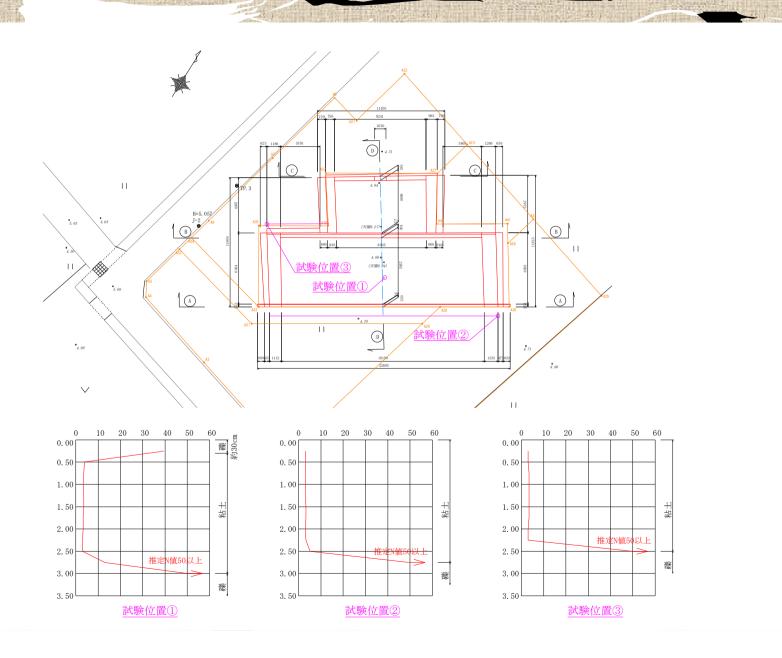
零戦用掩体



旧海軍耐弾構造による掩体構造寸法

- ① 旧海軍耐弾構造基準によると砲弾を受ける天蓋のコンクリート厚は丙種で400mm以上としており、この構造物はこの範疇に入るものと考えられる。天蓋コンクリートの厚さランクは特甲、甲、乙、丙の4種類である。
- ② 南国市5号掩体(練習機「白菊」用)とほぼ同じサイズの「零戦」 用掩体の図面より、掩体の側面に土盛りによる押えがある。 これにより掩体の股開きが抑止される設計になっている。 一方、掩体の上面にはカモフラージュ及び爆弾のエネルギー減衰 のための厚さ400mmの土が載せられていたようである。この土は 股開きを助長する方向である。
 - これらはいずれも現存してはいないが、特に押え盛り土は構造上必要なものである。(零戦用は厚さ1100mm)。

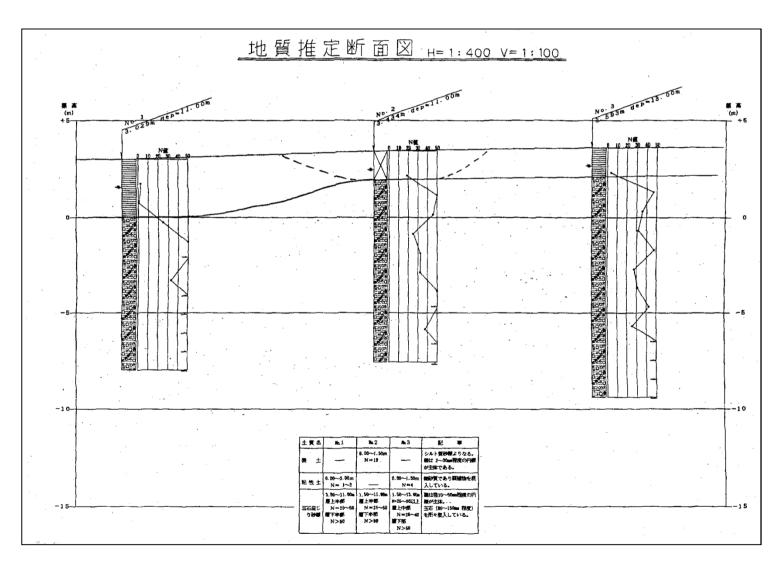
スウェーデン式貫入試験結果(N値換算値)



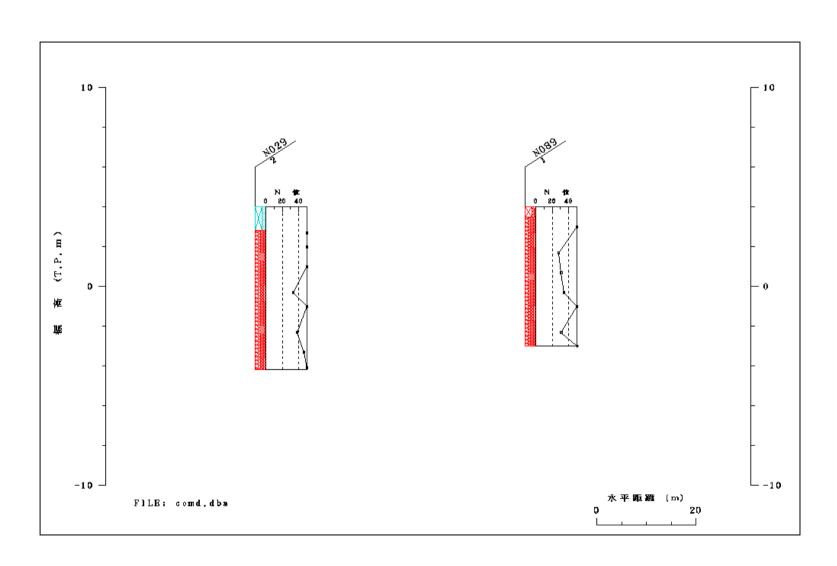
南国市立スポーツセンター及び大湊小学校位置の ボーリングデータ(位置図)



南国市立スポーツセンターボーリングデータ



大湊小学校 ボーリングデータ

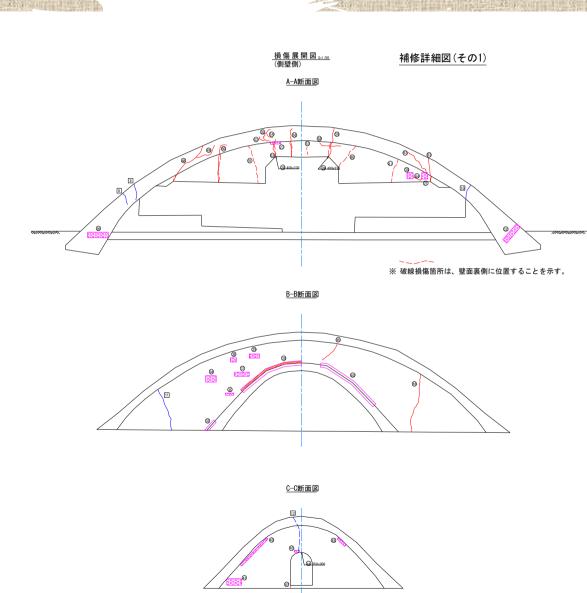


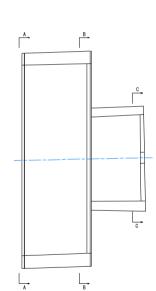
地質調査結果及び地質に関する評価

- ① 地表面下2.5m~2.7mは軟弱地盤(シルト)であり、その下はN値50以上の礫層である。試掘結果からもこのことは確認された。
- ② 付近の大湊小学校及び南国市立スポーツセンターにおけるボーリング 調査結果も同様の傾向を示しており、物部川扇状地の一般的な傾向と 一致している。
- ③ この結果と掩体の形状調査結果より、掩体は地表面付近のN値3程度の 軟弱地盤に支持されていることが判る。掩体前部は掩体後部に比べ重 量が大きくかつ支圧面積が小さいこと及び掩体後部は剛性が高いこと などから、掩体前部が掩体後部に比べ大きく沈下しさらに股開きが起 こっている傾向が説明できる。

このことが、掩体前部側面の大きなX形状のクラックの原因である。

コンクリートのクラヅク調査結果(その1)





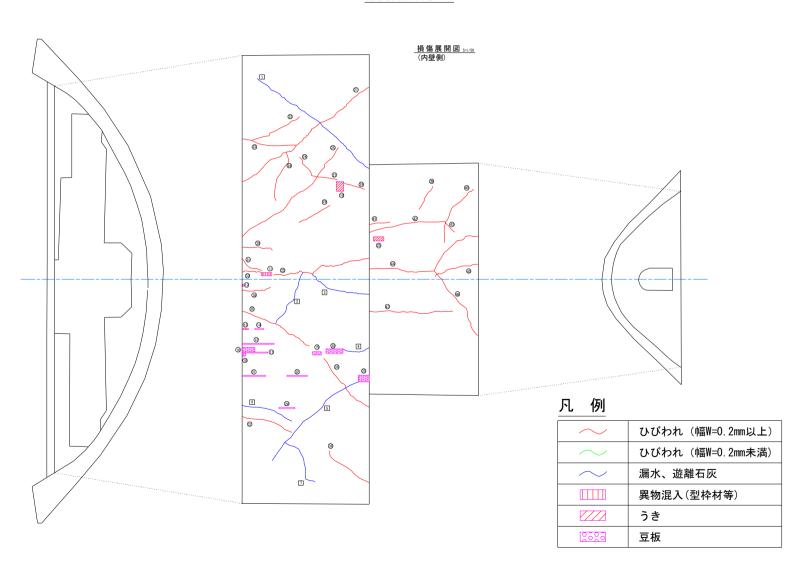
平面図_{\$=1/100}

例

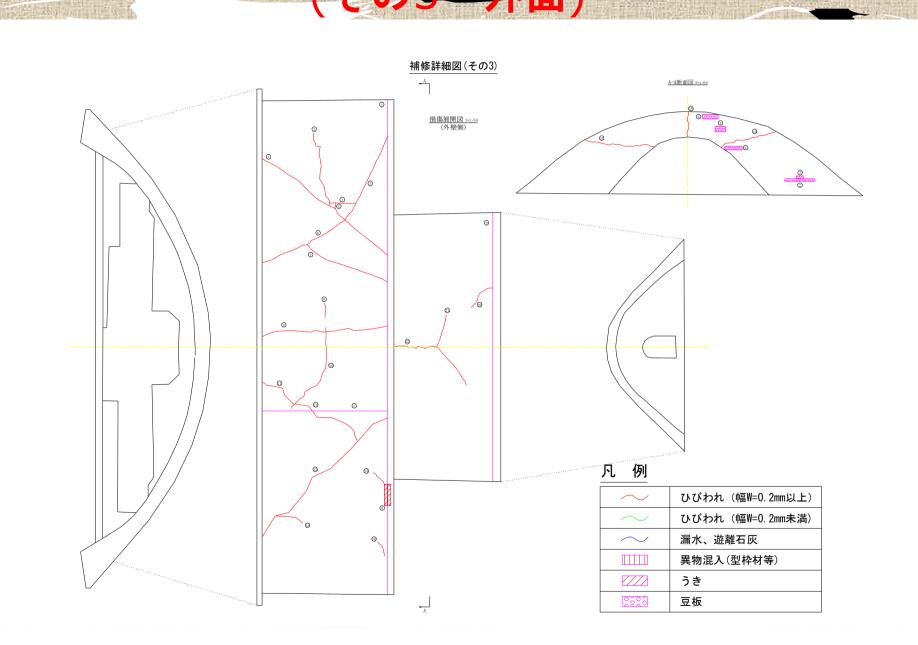
\sim	ひびわれ (幅W=0.2mm以上)
\sim	ひびわれ (幅W=0.2mm未満)
\sim	漏水、遊離石灰
	異物混入(型枠材等)
	うき
0000	豆板

コンケリートのクラック調査結果 (その2-内面)

補修詳細図(その2)



コンケリートのクラック調査結果 (その3-外面)



補修詳細図(その4)

1	\sim	ひびわれ	(4EV=0.	2mm lj.l.
1	\sim	ひびわれ	(4EW=0.	2mm#∂

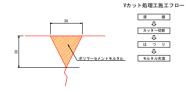
	ひびわれ	(韓W=0.2mm	UE)						
Т	ひびわれ	(韓国W=0. 2mm	未満)	[-	~	漏水、	遊離石灰	
34	Sha (10)	W=0. 2mmkl_L)				口湯水	 遊離石 	Æ
7	W (mm)	L (mm)					香号	L(mn)	
	0.20程度	7, 600					1	6, 900	
	"	3, 800					2	2,800	
	"	1, 250					3	3,000	
	"	350					4	1, 200	ı
	"	4, 500					5	5, 600	1
	"	4, 500					6	2,700	1
	"	4, 300					7	2, 700	
Т	"	700					8	600	
Т	"	5, 900					9	800	
	"	4, 600					10	750	
	"	2,000					- 11	2, 100	
	"	3, 750					12	3,500	
	"	8, 500					合計	32, 650	
	"	800							

 異物混入(型枠材等)						
777	5	ð				
200	豆	板				
		混入、豆枝				
番号	W(mm)	L (mm)	面積 (m2)			
1	100	23,500	2.35			
2	1,700	150	0.26			
3	400	_	0.06			
4	1,000	200	0.20			
5	600	_	0.18			
6	900	_	0.23			
7	5,950	_	1. 19			
8	300	_	0.30			
9	100		1. 27			
10	350	_	0.16			
11	500	150	0.08			
12	50	_	0.01			
13	300	_	0.02			
14	400	50	0.02			
15	1,500		0.08			
16	600	200	0. 12			
17	1,200	50	0.06			
18	150	_	0.02			
19	400	150	0.06			
20	800		0. 16			
21	1,100	_	0.06			
22	750	_	0.04			
23	650	300	0.20			
24	750		0.04			
25	500	_	0. 10			
26	1,000	250	0.25			
27	500	_	0.06			
28	400	_	0.09			
29	400	_	0.09			
30	300	_	0.09			
31	300	300	0.09			
32	1,000		0.25			
33	600	150	0.09			
34	500	300	0. 15			
35	400	100	0.04			
36	300	_	0.06			
37	700	200	0.14			
38	3,100					
39	500	_	0. 10			
40	3,400	200	0.68			
		_	0. 21			
42	1,800		0.18			
43	250	100	0.03			
44	150	_	0.03			
45	500	_	0.05			
	合	計	10.56			

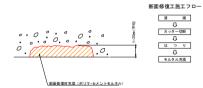
含浸材塗布工詳細図



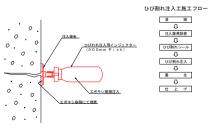
Vカット処理工詳細図



断面修復工詳細図



ひび割れ注入工詳細図



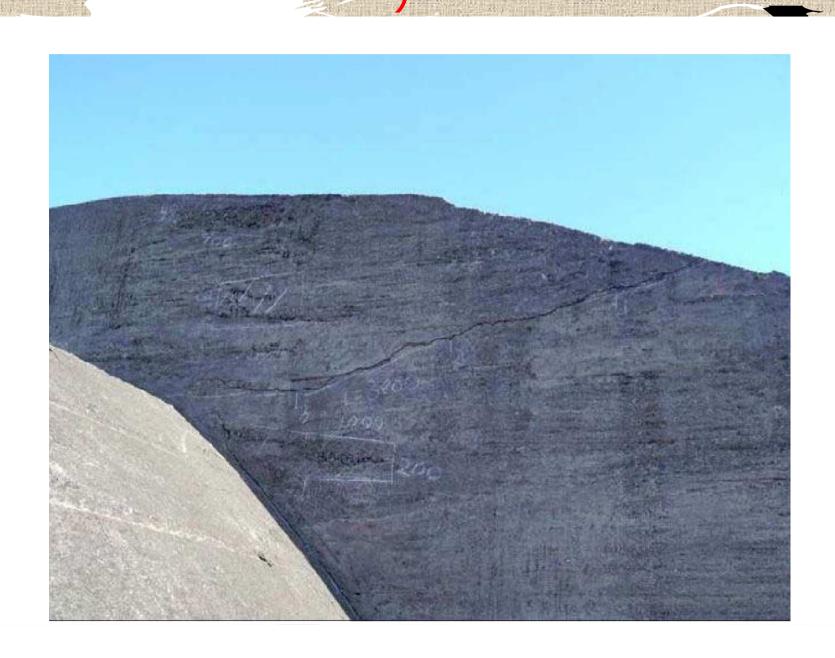
クラックの状況(前面壁クラック)



クラックの状況(中間隔壁後面クラック)



クラックの状況(中間壁後面の水平クラック



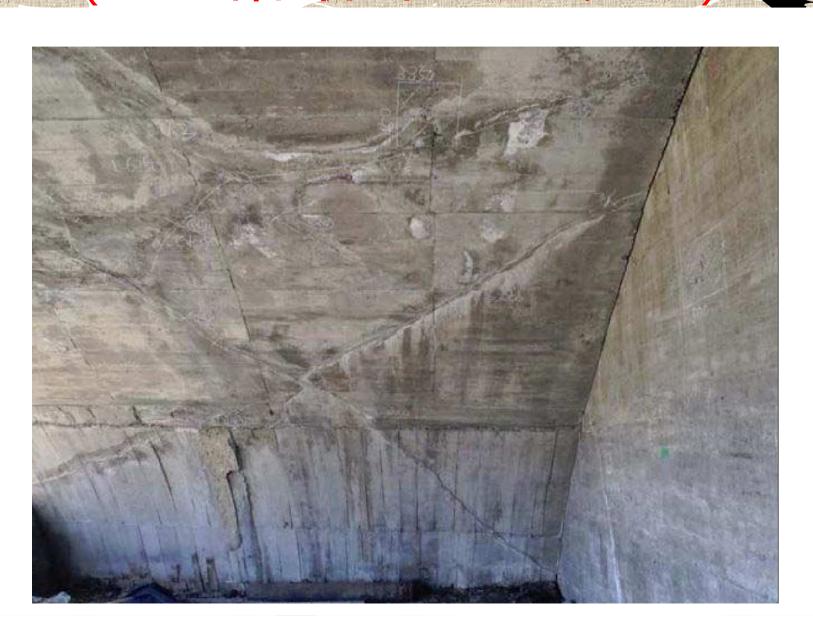
クラックの状況. (アーチ頂部内側前後方向クラック)



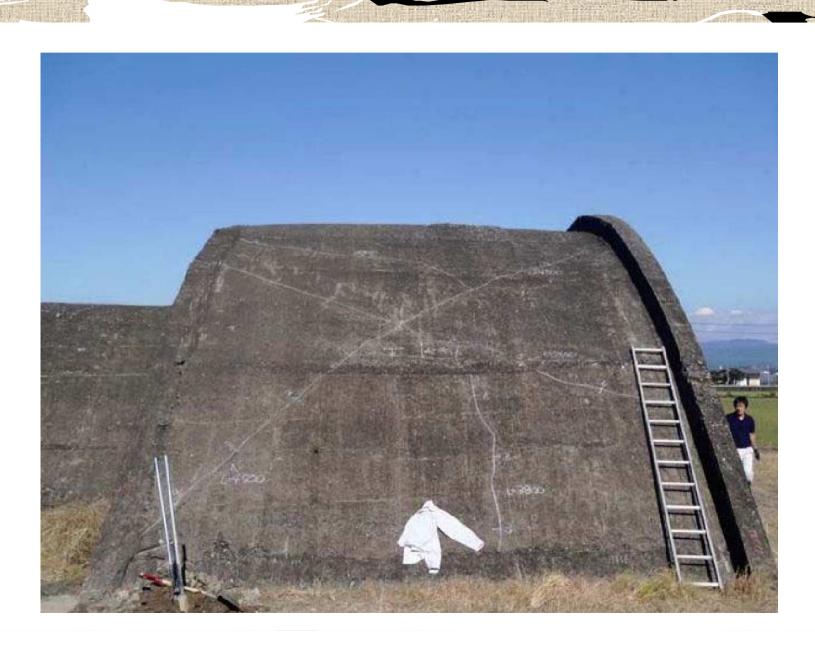
クラックの状況 (前部大アーチ東側内側X形クラック)



クラックの状況 (アーチ部西側内面×型クラック)

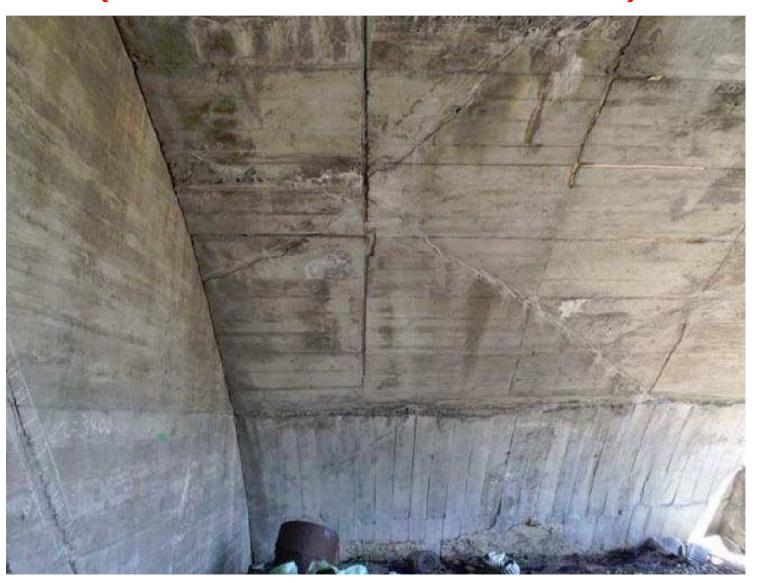


クラックの状況(アーチ側面外壁クラック)

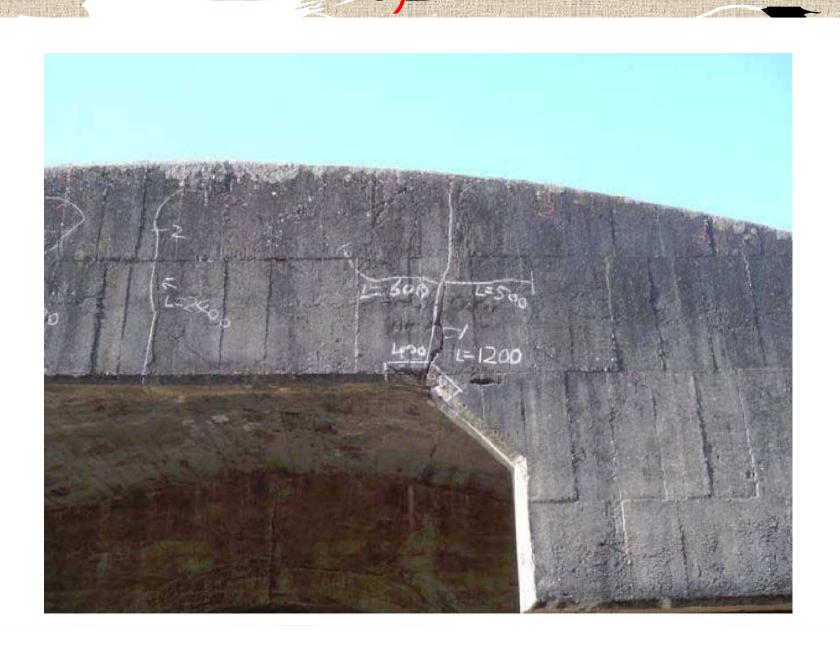


クフック以状況(アーナ部果側内面クフック

(漏水、遊離石灰も見られる)



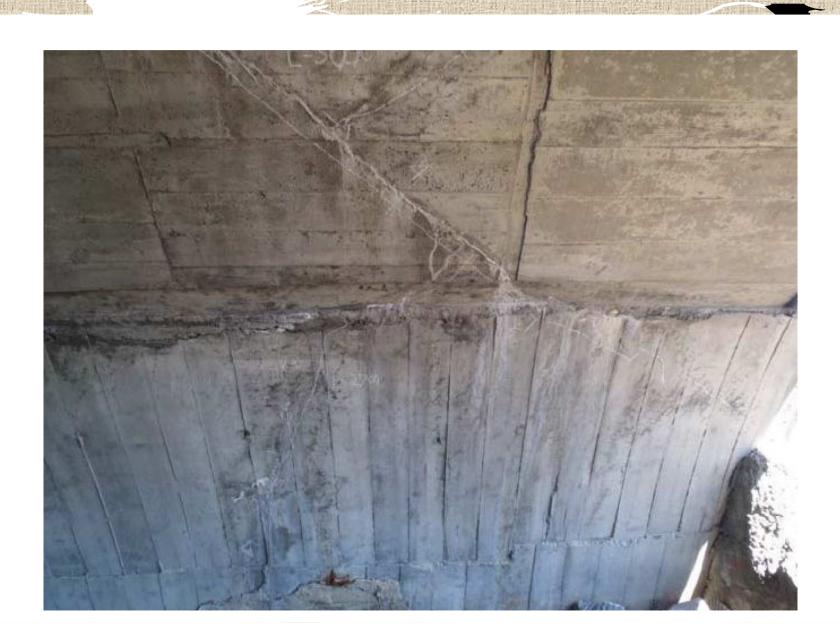
クラックの状況(前面壁隅角部外面クラック



クラックの状況 (前面壁隅角部外面~アーチ上面に及ぶクラッ<u>ク</u>)



コンクリードの打継目



クラックの状況(後面壁入口部のクラック)



浮き・豆板(打継部



前面壁隅角部鉄筋



配合推定試験供試体







供試体1 供試体2 供試体3

配合推定結果

供試体名	 単位 	容積質量	柞		水セメント 比		
供码件名		kg/m^3]		$[\mathrm{kg/m^3}]$			
	絶乾	表乾	セメント量	水量	骨材量	[%]	
供試体1	2265 2372		199	113	2059	56.8	
供試体 2	2197	2358	276	195	1886	70. 7	
供試体3	2051	2252	448	277	1527	61.8	

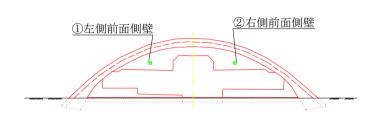
- 1. 供試体によりバラツキが大きい
- 2. 材料の不均一性が目立つ(配合・混練とも不良)
- 3. 供試体1が現在のコンクリートに近い

反発度法によるコンクリート強度

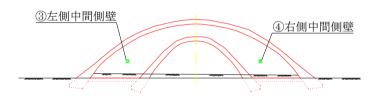
試験結果



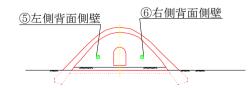
A-A断面



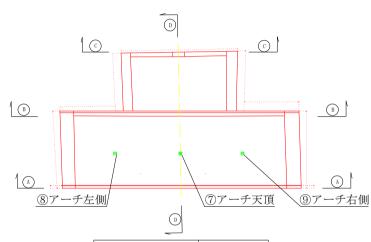
B-B断面



C-C断面



<u>平面図</u> S=1:100



試験位置	圧縮強度 (N/mm2)
①左側前面側壁	13. 37
②右側前面側壁	15. 60
③左側中間側壁	19.86
④右岸中間側壁	21. 91
⑤左側背面側壁	14. 53
⑥右側背面側壁	13. 37
⑦アーチ天頂	14. 54
⑧アーチ左側	12. 33
⑨アーチ右側	11.63
平均値	15. 24

電磁波レーダーによる鉄筋探査結果 (その1~アーチ基部)

電磁波レーダー法による鉄筋探査結果

対象構造物: 探査原理:

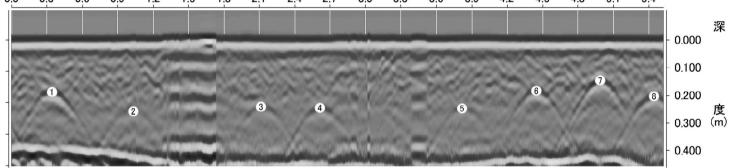
高知県南国市5号掩体壕

探査日: 平成24年1月13日(金)

電磁波レーダー法(機材名: GSSI社 Sir-3000) 走査面: 掩体アーチ部内面

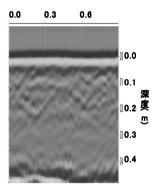
測線5

0.0 0.3 0.6 0.9 1.2 1.5 1.8 2.1 2.4 2.7 3.0 3.3 3.6 3.9 4.2 4.5 4.8 5.4

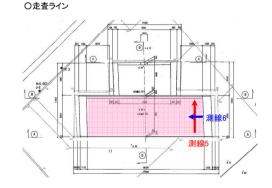


測線6

距離(m)



			掩体アー			
	測網	泉5(縦筋方	向)	測網	線6(横筋方	向)
	距離(mm)	配筋間隔(mm)	かぶり(mm)	距離(mm)	配筋間隔(mm)	かぶり(mm)
(1)	342		185	ı	ı	ı
2	1,035	693	253	-	-	-
3	2,115	1,080	236	ī	-	-
4	2,615	500	240	ı	ı	ı
(5)	3,820	1,205	242	ı	ı	ı
6	4,445	625	180	1	-	ı
7	4,987	542	143	ı	ı	ı
8	5,442	455	198	ı	ı	ı
9	Í	ı	1	ı	ı	ı
10	-	_	-	_	_	_



距離(m)

探査結果に対するコメント:

- ・縦筋方向(測線5)に鉄筋と思われる反応(8筒所)を確認した。配筋間隔は455mm~1205mm、かぶり深さは143mm~253mm(鉄筋位置は躯体断面中央付近)であった。
- ・横筋方向(測線6)には鉄筋と判断できる明確な反応は確認されなかった。

電磁波レーダーによる鉄筋探査を (その2-前面壁)

電磁波レーダー法による鉄筋探査結果

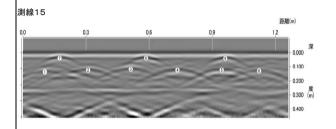
対象構造物: 探査原理:

高知県南国市5号掩体壕

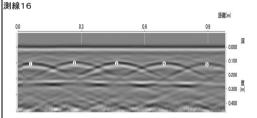
電磁波レーダー法(機材名: GSSI社 Sir-3000)

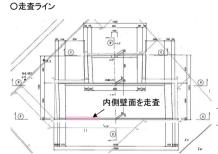
平成24年1月13日(金)

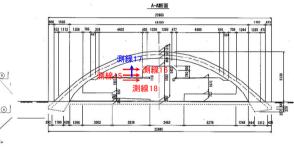
走査面: 掩体壁体部(A-A断面)内面

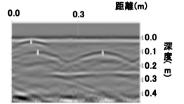


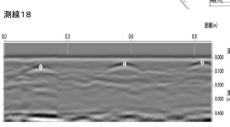
		掩体壁部(A—A断面)内面											
$ \ \ \ \ \ \ \ \ \ \ \ \ \ \ \ \ \ \ \$		測線15(縦筋方向:壁側面)			測線16(縦筋方向:壁側面)			測線17	(横筋方向:	壁側面)	測線18(ス	測線18(スターラップ方向:壁下面)	
	<u>距離(mm)</u> 配筋間隔(mm) かぶり(mm		かぶり(mm)	距離(mm)	配筋間隔(mm)	かぶり(mm)	距離(mm)	配筋間隔(mm)	かぶり(mm)	距離(mm)	配筋間隔(mm)	かぶり(mm)	
1		105	-	133	60	-	117	117	-	102	172	-	68
2		310	205	122	267	207	111	412	295	106	570	398	49
3		512	202	115	467	200	113	87	-	29	937	367	35
4		735	223	122	692	225	115	-	-	-	-	-	-
(5)		945	210	122	895	203	122	ı	-	ı	ı	-	-
6		1,122	177	128	-	-	-	1	-	ı	ı	-	_
7		175	1	35	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8		585	410	35	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9		962	377	37	-	_	-	-	_	-	-	-	-
(10)		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-











探査結果に対するコメント:

測線17

- ・縦筋方向(測線15,16)に鉄筋と思われる反応を確認した。配筋間隔は177mm~225mm、かぶり深さは111mm~128mm(壁厚:約250mm)であった。
- ・横筋方向(測線17)に鉄筋と思われる反応を確認した。配筋間隔は295mm、かぶり深さは102mm~106mm(壁厚: 約250mm)であった。
- ⇒測線15.16.17の配筋状況より該当壁体の配筋は壁体中央へ配筋されたシングル配筋であることが確認された。
- ・測線15に確認されたかぶりの浅い鉄筋(⑦⑧)は、測線18の配筋間隔に近いため同じ鉄筋であると推察される。

電磁波レーダーによる鉄筋探査結(その3ー中間隔壁)

電磁波レーダー法による鉄筋探査結果

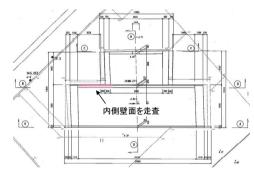
対象構造物: 高知県南国市5号掩体壕 探査日: 平成24年1月13日(金) 探査原理: 電磁波レーダー法(機材名: GSSI社 Sir-3000) 掩体壁体部(B-B断面)内面

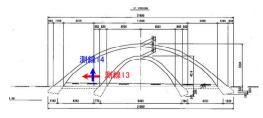
測線13 距離(m) 0.3 0.6 0.000 0,100 0.200 - 0.300 ^(m)

12						
測線14				距離	(m)	
0.0	0,3	0,6	0,9	1,2		
						深
	-				0,000	
1	2	0	4	-6	0.100	
	Salt de	E of the			0.200	度 (m)
A Good				TAY N	0.300	(m)

	掩体壁部(B-B断面)内面							
	測制	線13(縦筋 方	向)	測制	14(横筋方	向)		
	距離(mm)	配筋間隔(mm)	かぶり(mm)	距離(mm)	配筋間隔(mm)	かぶり(mm)		
1)	135	ı	84	115	ı	79		
(2)	397	262	88	355	240	90		
3	662	265	96	690	335	100		
4)	860	198	102	937	247	104		
(5)	1,102	242	113	1,245	308	104		
6	-	-	-	-	-	-		
7	-	-	-	-	-	-		
8	-	-	-	-				
9	-	-	1	-	-	_		
(10)	_	_	-	_	_	-		

〇走査ライン



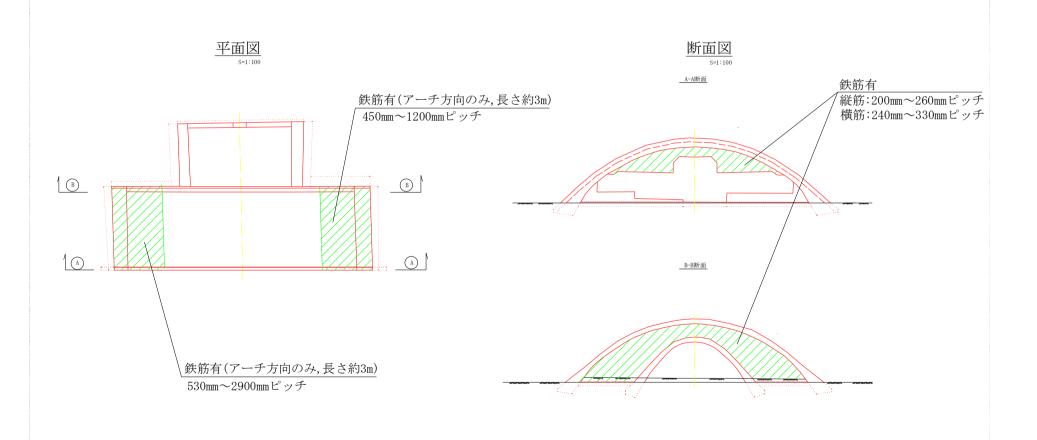


探査結果に対するコメント:

- ・縦筋方向(測線13)に鉄筋と思われる反応を確認した。配筋間隔は198mm~262mm、かぶり深さは84mm~113mm(壁厚:約400mm)であった。
- ・横筋方向(測線14)に鉄筋と思われる反応を確認した。配筋間隔は240mm~335mm、かぶり深さは79mm~104mm(壁厚:約400mm)であった。

0.400

鉄筋存在領域 (鉄筋探査のまとめ)



コングリート調査結果及び評価 (コンクリートのクラック等)

- ① 前部大アーチ、後部小アーチとも、頂部に曲げに起因する前後方向の大きなクラックが 発生している。
- ② 前部の沈下と前部アーチの股開きにより、前部アーチの両側(アーチ基礎に近い側)のアーチ面に45°方向のX型の大きなクラックが発生している。後部アーチ・後面壁・中間隔壁の部分は剛性が高くスパンも短いため沈下・変形が小さいのに対し、前部大アーチは剛性が低くスパンも長いため前方への傾斜及びアーチの股開きが発生していることに起因している。基本的に基礎の支持力不足が原因である。
- ③ 前面壁隅角部に応力集中クラックが発生している。構造的にアーチ荷重は前面壁に作用している。
- ④ 後部小アーチの頂部付近の高さで中間隔壁の後面に大きなほぼ水平なクラックが発生している。掩体が前方に傾いていることによる曲げクラックである。
- ⑤ その他、浮き・豆板・漏水・遊離石灰等も多く今後の更なる劣化が懸念される。
- ⑥ これらのクラックのため降雨時には雨漏りが多い。雨漏りはコンクリートや鉄筋の 更なる劣化を招く。
- ⑦ 最大クラック幅は5mmであり最大クラック長は5.2mである。

コンクリート調査結果及び評価、 (コンクリートの強度)

- ① 平均的には強度があるように見えるが、実際のコンクリートの目視観察によると、このコンクリートは直径30mm以上の礫が多くこの試験結果は礫の影響を大きく受けていると考えられる。また実際のコンクリートは砂分を手で擦るとボロボロに砕け、コンクリートの強度は反発度法の結果よりもかなり小さいと考えられる。大きなクラックがあることも含め補修設計にあたってはコンクリート強度の扱いを慎重に行うべきである。
- ② 旧海軍「耐弾構造基準」によると28日圧縮強度は150kg/Cm以上と規定されており、 この点からもコンクリート強度の低下があるものと考えられる。
- ③ コンクリートは中性化が進んでおり、中性化による強度変化はないものの、脆くなっているものと考えられる。

コンクリート調査結果及び評価

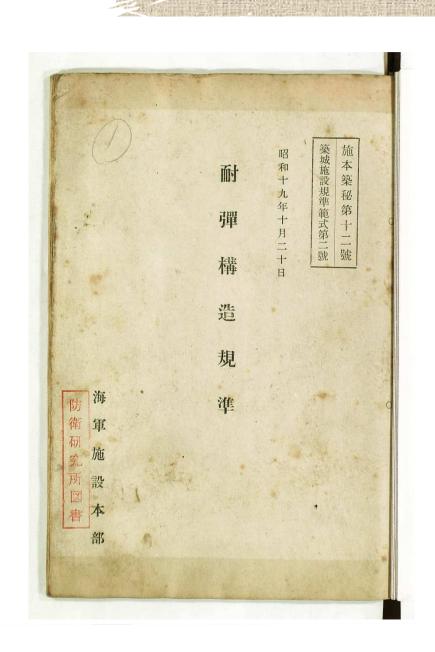
(鉄筋)

- ① 掩体天端付近にはアーチ方向にもアーチ直角方向にも鉄筋は存在しない。
- ② 掩体前面大アーチの基部(両端部)には、アーチ方向(長手方向)に不規則に鉄筋(長さ3m)が存在するが、アーチ直角方向(短手方向)には、鉄筋は存在しない。板厚方向の位置は中央部に存在する。鉄筋のピッチは西側が530mm~2900mmであり、東側は450mm~1500mmである。
- ③ 後部小アーチに鉄筋は存在しない。
- 4 中間隔壁には、200mm~260mmの間隔で縦筋が、240mm~330mm間隔で横筋が、いずれも 断面中央に存在する。
- ⑤ 前面外壁には180mm~220mmの間隔で縦筋が、約300mm間隔で2列の横筋が確認された。
- ⑥ 前面壁切欠きコーナーハンチ部のコンクリート欠損状況よりこの部分に使用されている 鉄筋は錆びており、明瞭には分からないが直径6~9mm程度の丸鋼(異形鉄筋ではない) であり付着力も小さいと考えられる。前述のクラックの状況、コンクリート強度等も 合わせ構造的評価はさらに下がる。中性化が進んでいることも含め慎重な対応が必要 である。
- ⑦ 掩体前面の沈下が大きくなっている現象に対し前後方向の鉄筋は存在しない。

コンクリート調査結果及び評価 (コンクリートの配合)

- ① 供試体1が最も一般的な配合に近い。供試体2及び供試体3は供試体1に比べサンプルが 小さかったため特別な値を示したものと考えられる。
- ② 供試体2は水が多く捨コン程度の配合である。
- ③ 逆に、供試体3はセメント量が多くかなりの高強度となっていると考えられる。
- ④ 旧海軍「耐弾構造基準」によると、当時のコンクリートの配合は容積比で、 セメント:砂:砂利=1400袋:92:184(1:2:4)となっており、さらに水セメント比 は0.5程度を基準としている。このことからも供試体1が当時の配合に近いと考えられる。
- ⑤ コンクリートの位置的なバラツキも大きくさらにデータ数が少ないため断言はできないが、クラック・中性化等コンクリートの劣化が進んでいることにより、コンクリート本体の強度はあまり期待できない。

旧海軍「耐弾構造基準」



一 鐵筋「コンクリ ト」等ノ場合

- 穿入量ノ三倍ヲ以テ安全厚トス
- de Marre 式ニ依ル穿徹量=對シ安全厚へ砲彈ニツキテへ約一倍爆彈ニツキテへ約一・二倍ス
- 第二十一 各種砲爆彈ニ對スル各種材料ノ安全厚へ第三表ノ如シ但シ本表へ計算、實驗及戰訓ヲ資料トセル 本表ノ使用ニ當リテハ左記ニ留意スルヲ要ス
- 倍トスルヲ可トス 本表へ一彈ニ對スル安全厚ナルヲ以テ機銃及對戰車砲等ノ如ク連續同一箇所彈着ノ惧アル場合へ本表ノ約一・五
- 一 本表ハ時限信管付砲爆弾ノ場合トス省發信管付ノ場合ハ本表ノ約二分ノートナスコトヲ得
- 射距離及投下高度ハ生ジ得ベキ場合中防禦側=最不利ナル狀況ヲ採レリ
- 第二十二 施設ニ附與スベキ耐彈力ノ種別ヲ計畫ノ便宜上左ノ五種トス 土、砂、砂利等ノ場合ニハ一般ニ穿徹彈道ハ鬱曲スルヲ以テ本表ニ示ス安全厚ハ概シテ大ニ過グ
- 特甲耐彈式 凡ソ五〇〇瓩爆彈ノ直撃ニ耐フ
- 甲 耐彈式 凡ソ二五〇瓩爆彈又ハ中口徑砲彈ノ直撃ニ耐フ
- 直撃ニ耐フ
- 機銃及砲爆彈ノ彈片及爆風ニ耐フ
- 第二十三 各種耐彈力ニ於ケル鐵筋「コンクリー ト」ノ所要厚ヲ次表ノ如ク定ム

耐彈式	名稱	特甲	甲	乙	丙	防彈
砲彈ノ場合	天		一米000	0米六00	〇米四〇〇	〇米一五〇
	側壁		1米六00	〇米八〇〇	〇米五〇〇	0%1100
爆弾ノ場合	天、蓋	三米000	一米五〇〇	0米七00		〇米一五〇
	側翼雕	三米〇〇〇	一米五〇〇	0米七00		〇米二五〇

- 一 本表へ「コンクリート」ノ二八日壓縮强度ヲ每平方糎一五〇瓩以上トス
- 同毎平方糎一〇〇瓩程度ニ於テハ强度ノ平方根ニ逆比例シ安全厚ヲ増加スルヲ要ス
- 前線等ニ在リテ「コンクリート」ノ强度不充分ト見做サルル場合ハ本表ノ数字ヲ一・二倍以上トスルデ要ス
- 配筋へ第五章ニ示ス耐彈式配筋ニ依ル

第五章

第二十四 耐弾施設へ重厚ナル鐵筋「コンクリー ト」構造ヲ最適トス

第二十五 配筋へ上端筋、下端筋及繋筋ョリ成り特ニ耐弾構造ニ於ケル繋筋ノ效果へ大ナルモノアルヲ以テ之ヲ重視シ 一般構造ニ於ケルヨリ强化スルヲ要ス上端筋ハ「コンクリート」ト共ニ砲爆弾ノ穿入ヲ阻止シ下端筋ハ版ノ崩落ヲ阻

第二十六 各部材ノ配筋へ耐彈ヲ主眼トシテ配筋シ構造力學的考慮ヲ加ヘザルヲ例トス但シ特ニ徑間大ナル場合又へ覆

一九

「コ ク

第三十四 粗略不注意ナラシムルガ如キハ嚴ニ戒ムルヲ要スルモノト 混揑、打設及養生等ニ於テ最モ周到適切ナラシメ萬遺憾ナキヲ期スルヲ要ス前線等ニ於テ急速施工ノ故ヲ以テ施エヲ 耐彈施設用「コンクリー ト」へ特二良質ノモノタルヲ要ス之ガ爲「コンクリ ノ施工ニ當り

第三十五 耐彈施設用「セメント」へ特ニソノ貯蔵ニ愼重ナルヲ要ス

スルヲ要ス 風化ラ發生セルモノへ强度試験ラ行と强度ノ減少程度ニ應ジ「セメント」ノ使用量又ハ「コ

第三十六 南方地域ニ於ケル「リーフ」等ノ如キ良質ナラザル骨材ヲ使用スル場合ハソノ强度ノ低下ニ鷹ジ「コンク ート」版厚ヲ増加スルヲ要ス

(註)「リ 「コンクリート」壓縮强度へ約三分ノニニ低下ス

耐彈「コンクリー - ト」ノ打設へ特ニ智熱者ヲシテ作業ニ當ラシメ要スレバ右各作業ニツキ指導ヲ興ヘタル上施工セ

第三十七 耐彈「コンクリー ムルヲ要ス

第三十八 耐彈用「コ 練リタル「モルタル」ヲ以テ鐵筋ヲ被覆シ使用海水ニ依ル鐵筋ノ腐蝕ヲ防止スルヲ要ス ト」ニハ海水ノ使用ヲ避クベシ若シ離島等ニアリテ眞水又ハ天水ヲ得難キ場合ハ天水ニテ

ト」ノ水「センメト」比ハ○・五程度トシ使用「セメント」量へ一立方米當三○○瓩以

第三十九 事項左ノ如シ 「コンクリート」へ成ルベク硬練トシ打設ニ際シテ搗固メヲ充分ナラシムルヲ要ス搗固メ作業上注意スベ

- 搗固メ作業班ヲ編成スルコト
- 適宜ノ搗棒ヲ使用スルコ
- 能フレバ搗固機又へ振動機ヲ使用スルコ
- 搗固メハ特ニ鐵筋周圍及型板附近ヲ丁寧ニナスコト
- 搗固メノ爲ニ砂利ノ分離ヲ來サザルコト 耐彈「コンクリー
- 於テハ適當ナル保温裝置ヲ行ヒ極寒期ニ於テハ材料ノ加熱及打設後ノ保温ヲ充分ナラシ 」ハ成ルベク寒冷ノ期(氣溫攝氏一〇度以下)ノ打設ヲ避クルヲ要ス已ムヲ得ザル場合
- 第四十一 「コンクリート」ノ打機部ハ耐彈上ノ弱點ニシテ此ノ部分ノ設計及施工宜シキヲ得ザルトキハ龜裂ヲ生ズル 酷熱地ニ於テハ成ルベク日中ヲ避ケ打設スルヲ可トス

ノミナラズ全般的崩壊ヲ來ス惧大ナリ打繼部ニ對スル注意事項左ノ如シ

打繼面へ垂直(又へ平面)トシ能フレバ枘ヲ設クルコ

打設作業能力ヲ考慮シ打繼位置ヲ適切ニ計畫スルコト

- 次囘「コンクリート」打設ノ場合打繼面へ清掃シ「レイタンス」及塵芥ヲ完全ニ取除クコ
- 聚雨等ノタメニ作業ヲ中止スル場合へ席、「カンバス」等ヲ以テ蔽ヒ防護スルコト
- 要スレバ打繼面ニ富質「モルタル」ヲ加へ打繼ヲ行フコ

(P.25)

第四十二 耐彈施設ノ「コンクリート」ハ左ノ一級「コンクリート」タルヲ要スルモ入手材料上、工期上又ハ施工上ニ 於テ萬全ヲ期シ 得ザル 場合へ 構造中ノ 重要程度大ナラザル部分ニ對シ二級「コンクリート」以下ヲ實施スル場合ア

一級「コンクリート」壓縮强度每平方糎一五〇瓩以上 砲爆彈ノ直撃ヲ受クル部分ニ使用

二級「コンクリート」壓縮强度每平方種一〇〇瓩程度

起爆層又へ施設ノ基礎等ニ使用ス無筋「コンクリー ト」又ハ割栗「コンクリ ト」トスル場合アリ

三級「コンクリート」壓縮强度每平方糎一〇〇瓩以下

床、交通路等ニ使用(代用「セメント」使用ニ依ル場合アリ)

第七章 方

第四十三 施設=與フベキ耐彈力へ敵ノ攻撃力ノ種類、攻撃方向、施設ノ重要性、材料入手狀況、工期及勢力等ヲ考慮 滅ズルヲ得之ニ反シ明瞭ナル目標トナル施設ニ對シテハ一箇所二彈以上ノ直擊彈ヲ考慮スルヲ可トス シ用兵者ト充分協議ノ上決定スルヲ要ス尚代換施設ヲ有スル場合地形上及偽裝上有利ナル場合へ之ニ應ジテ耐彈力ヲ

第四十四 材料並ニ勢力情況上若へ急速ニ施設ノ槪成ヲ要スル等ノ爲直ニ所要耐彈力ヲ附與シ難キ場合へ逐次之ヲ强化 スルノ手段ヲ講ズルヲ要ス第十二圖ハ起爆層ヲ漸次重ネタル耐弾力强化要領ヲ示ス

第四十五 耐彈施設へ隧道式ヲ最良トス隧道式ニ依リ得ザル場合地下式トシピムヲ得ザル場合ニ於テ地上式トナス倫地

総合的評価と補修補強の方針 「総合的評価(調査結果のまとめ)」

- 1) 掩体は前方に大きく傾き、さらに股開きも発生しており、 構造的に限界を超えている。
- 2) 掩体は表層2.5m~2.7mの軟弱地盤に支えられており 更なる沈下が予想される。これは支持力不足による不等 沈下として現れる。また構造物の特性(剛性、形状、 重量配分)より股開きの傾向が強い。
- 3) コンクリートは材料・施工とも不良であり強度が小さく中性化も進んでいる。さらに、鉄筋も前後方向の鉄筋は皆無であるため、地盤の不等沈下により大きなクラックが発生しており、劣化が進んでいる。漏水・石灰の遊離も激しい。

総合的評価と補修補強の方針「補修補強の方針」

補修補強の方針を次のような優先順位で考える。最終的には経済性も考慮する。

- 1) 掩体の股開きおよび沈下を可能な限り止める。
- 2) 基礎の鉛直耐力を上げる。
- 3) 掩体のアーチ部分については、樹脂注入による補修補強 と防水、炭素繊維による補強と防水の対策を検討する。
- 4) 鉄骨による耐震補強を検討する。

採用可能な掩体補修工法

(その1 押え盛土工及び基礎工)

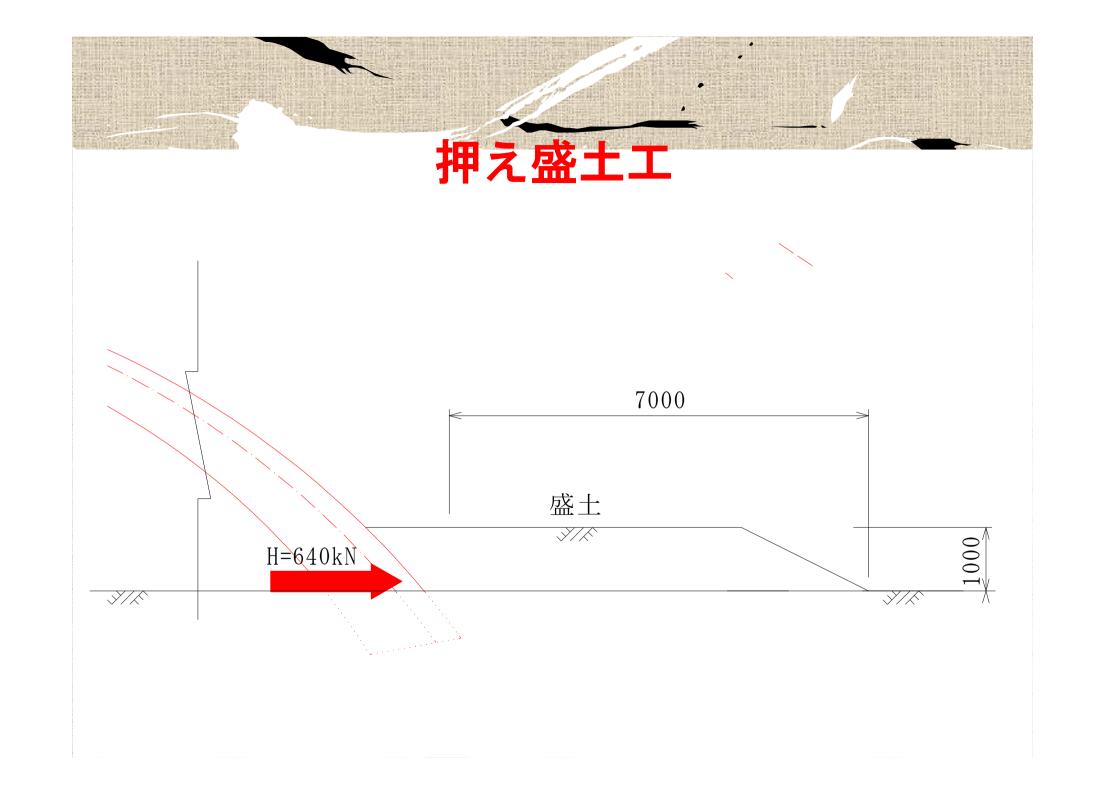
No.	工法の名称	エ	法	Ø	概	要	目	的	及	び	特	徴	備	考
1	押え盛土工	H=6	40kN	盛土 ジ/ベー 1m. 十量 50)	7000	3/ /× 1 000 €	・単純ない。単純ない。一般では、一般では、一般では、一般では、一般では、一般では、一般では、一般では、	き防止 ご安全性 刺敷地は	生の向.	Ŀ			・撤出し転圧 ・下記2,3-1,3-2 の上に施工	
2	掩体基礎工	<u>日刊</u> 側(日 日400×00	1875 187 (\$\tilde{x} \tilde{x} \tild		ケミカルアンカー(基準 水本-152600 第二次表300m (単作部分 第二次表300m (単作部分 1422x1200x800) 1628x(基準店) 1640x100x100x13/21	<u>n</u>	・杭片側 ・鉄骨衫 ・掩体と (安全	浦強工 ((下記6) ンカー	の基礎 接合要	楚兼用		・ケミカルアンカ φ25mm, 9本 埋込長300mm	_

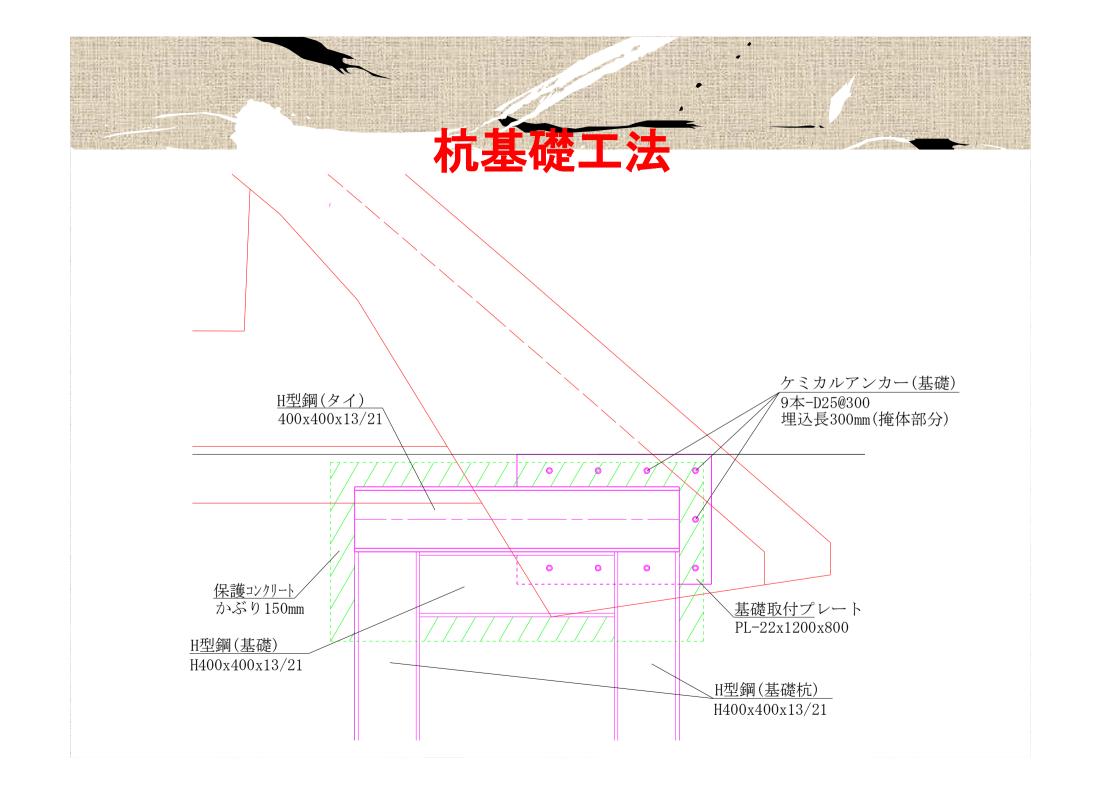
採用可能な掩体補修工法(その2 鋼矢板親杭工及びコンクリート床板親杭工)

No.	工法の名称	I	法	Ø	概	要	B	的	及	び	特	徴	備	考
3-1	鋼矢板親杭工		・股開き ・施工中 ・3-2に	安全性		・押え盛土工併用								
3-2	コンクリート 床版親杭エ	コンクリー	親杭H35	・完成後・施工中	・股開き防止 ・完成後の安全性は高い ・施工中安全性要注意 ・3-1に比べコスト低い						并用			

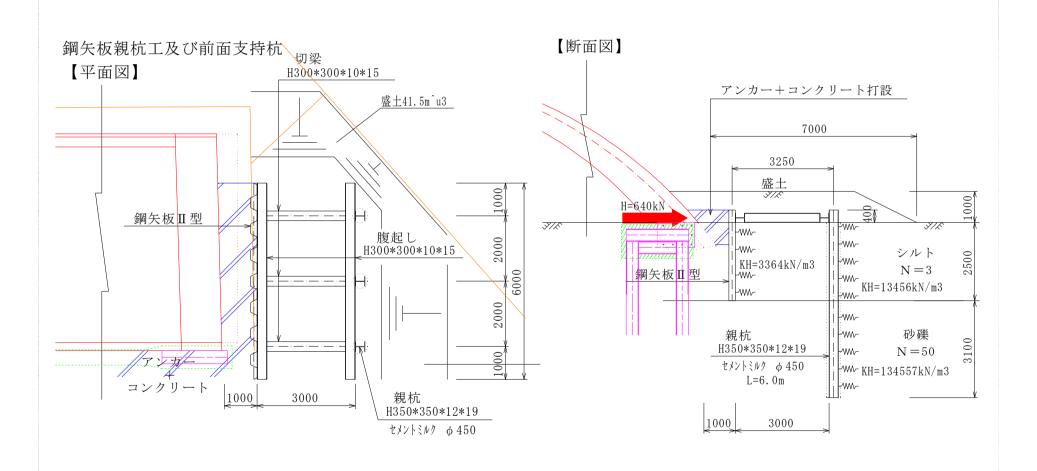
採用可能な掩体補修工法(その3 樹脂注入工、炭素繊維工及び鉄骨補強)

No.	工法の名称	I	 法	Ø	概	要	B	的	及	び	特	徴	備	考
4	樹脂注入工		ひび割 断面 含浸	ト処理:3 れ注入:1 修復:10. 	74. 22m 56m ² 53m ²		・コンク ・後部小 ・耐震性 ・美観上	ヽアーチ Eやや向	←も施: 可上	_	及び湯	水対策	・炭素繊維工名 含浸材塗布 ・美観上の色名	
5	炭素繊維工		2方向最惠		炎素繊維工 -層165㎡(上面のみ)	1 2	· 上記4 (含浸 · 後部小 · 耐震性 · 補強及 · 美観上	材塗布 ハアーチ E向上 なび漏か	は不要 施工- <対策	<u> </u>	ず必要		・紫外線劣化 フッ素表面が ・美観上の色質	処理が必要
6	鉄骨補強工	35-3-00 <u>新士</u> 義	<u>支持アーチ</u> H400x 400x15 ト (アーチ)	A-A所面 8/27 - 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1):5.4t	を基礎が詳細図参照 ・ N選進度性 ・ 400-400-13/21, 1-3000	・耐震性 ・コスト ・美観上 ・コンク	·高い -の問題	五大	アンカ	一結合	計困難		



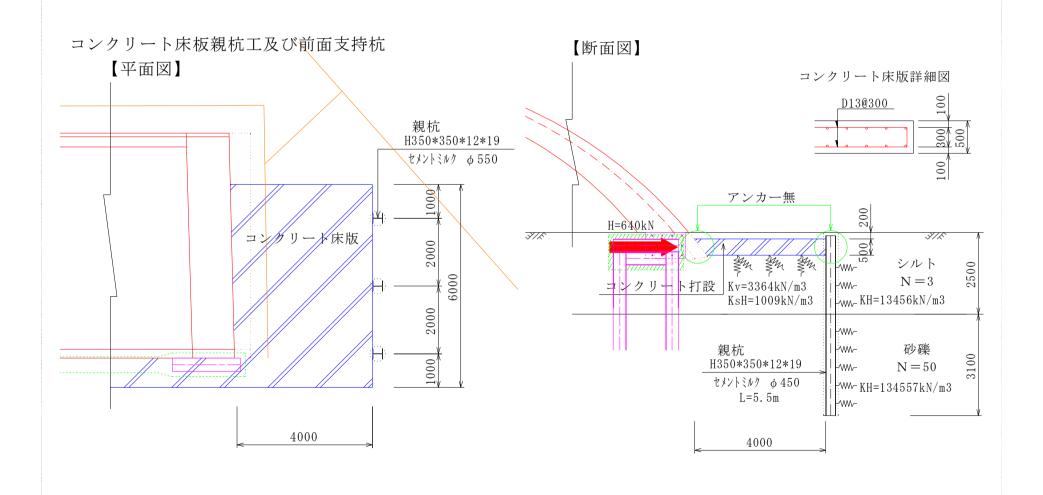


鋼矢板親杭工及び前面杭支持工



コンクリート床板親杭エ

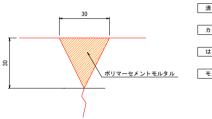
及び前面杭支持工

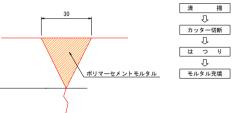


コンクリートの補修

Vカット処理工詳細図

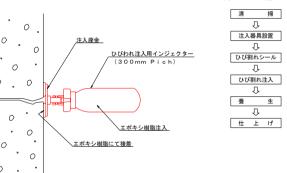
Vカット処理工施工フロー





ひび割れ注入工詳細図

ひび割れ注入工施工フロー



V**カット処理:** 32.65**m**

ひび割れ注入: 174.22m

断面修復: 10.56㎡

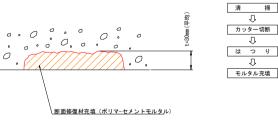
含浸材塗布: 153.00㎡

(炭素繊維工を行わない場合)

断面修復工詳細図

断面修復工施工フロー

Û

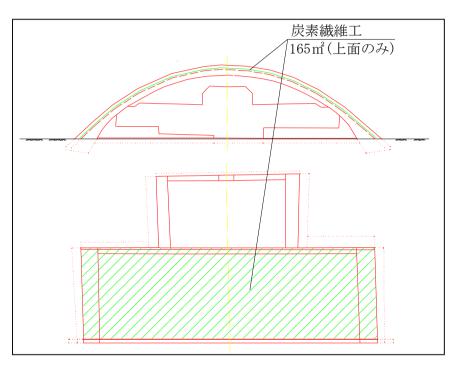


含浸材塗布工詳細図

含浸材塗布工施エフロー



炭素繊維工



炭素繊維の特徴:①圧縮強度・面外のせん断強度なし。

②引張強度は鋼材の10倍以上ある。

③アーチ面内引張力16kgf/cmに対し十分安全。

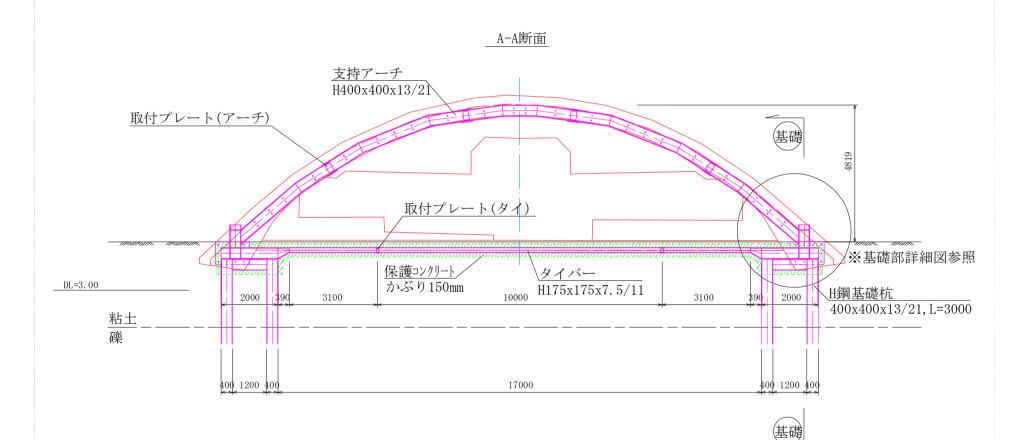
採用上の課題:①コンクリート地肌が見えなくなる。

(歴史遺産としての価値の低下)

②紫外線劣化がある(フッ素コーティング)

鉄骨によるアーチの補強

(耐震補強)



その他検討した補修補強工法

工法の名称	エ	法	の	概	要	特	徴	及	び	問	題	点	備	考
タイロッド工法		ーチの服 チの下音 など引	邓両端	をタイ	ロッド	・野鉛は、	支持:	カには ド取付	期待のた	でき ⁷ めの	ない。 掘削・	らる。		
鉛直水平杭工法		・基部に 沿直水平 抵抗		向の力		• 水平	層で 支持: るた。 は非:	クリア カにつ め斜杭	'ーで いて iとな	きる。 は表り る。	。 層が朝	(弱層	※水平支持は	·他工法が 望ましい。
地盤改良		·礎部周 夜注入(:		–	含む)の 良。	・薬液	を乱 圧入(の不)	し危険 作業に 安定化	き。 :よる :。					
コンクリート版 縫地工法	裂面に	.45°の	角度で	削孔·	たきな亀 ・鉄筋挿 削を注入		本構造 要領 確認	• 局; 等施工 去。	部構造				※現状及び完	成形より推定

鉄骨による掩体アーチの補強

1. 鉄骨の構造形式

・基本的に2面または1面の補強アーチ構造。掩体アーチに沿わせる。

一2面補強アーチ:掩体内構造。地盤支持力不足

1面補強アーチ:掩体内または掩体外に配置。面外力に対する

抵抗(ねじりの発生)。地盤支持力不足

2.技術的可能性

- ・補強アーチの掩体内配置は支持層への基礎施工困難。
- 後方小アーチ、中間隔壁、後部壁等が前後方向の剛性が十分か。
- 前方大アーチが一体化されているか。

3.美観上の問題

鉄骨剥き出しは歴史遺産としての価値を下げる。

鉄骨アーチ補強の方針

- 1. 前方アーチは樹脂注入または炭素繊維貼付けにより 一体化する(必須)
- 2. 後方小アーチ、中間隔壁、後方壁は剛性が十分あり、 前後方向に耐えられるものとする
- 3. 基礎は深さ2.5m~2.7mの支持層とする。
- 4. 1面アーチを掩体前面外壁に沿わせ、掩体アーチと ケミカルアンカーで定着する。
- 5. 美観上の問題は止むを得ないものとする。

鉄骨建築物の構造計算フロー

スタート

建築物の規模

許容応力度計算による確認

「特定建築物」の指定の判定

判断*

層間変形角の確認

層間変形角≤1/200

剛性率、偏心率の確認 剛性率≥6/10 偏心率≤15/100

○筋かいのβによる応力割増し ○筋かい端部・接合部の破断防止 ○局部座属等の防止

ルート2

その他

建設大臣が認める構造計算

高き>31m

層間変形角の確認

層間変形角≤1/200

保有水平耐力の 確認

 $Q_{un} = D_s F_{es} Q_{ud}$

ルート国

 $Qu \ge Qu$

階数≤1 延べ面積≤200m²

構造計算不要

高さ≦13m 軒の高さ≦9m スパン≦6m 延べ面積≤500m

o C。≥ 0.3として許容応力度

計算 ○筋かい端部・接合部の破断

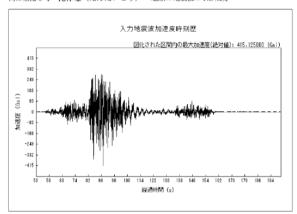
ルートコ

判断*

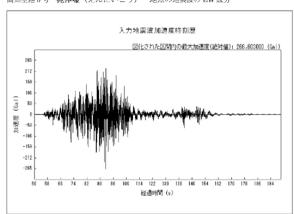
階数≦3 高さ≦13m 軒の高さ≦9m スパン≦6m 延べ床面積≦500m² 許容応力度法による確認

安政南海地震(M8.4)の地震動と 加速度応答スペクトル

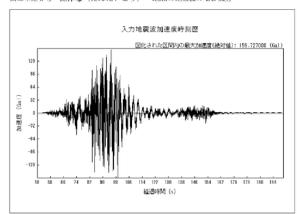
高知空港5号 掩体壕 (えんたいごう) 地点の地震波のNS成分

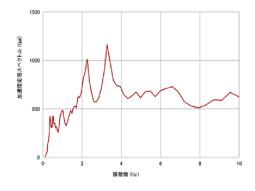


高知空港5号 掩体壕 (えんたいごう) 地点の地震波の EW 成分

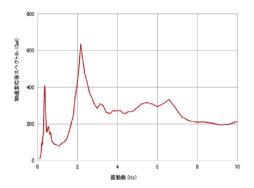


高知空港 5 号 **権体壕**(えんたいごう) 地点の地震波の UD 成分





800 (EC) 1442 22 200 200 2 2 4 6 8 10 類敵飲 (Hz)

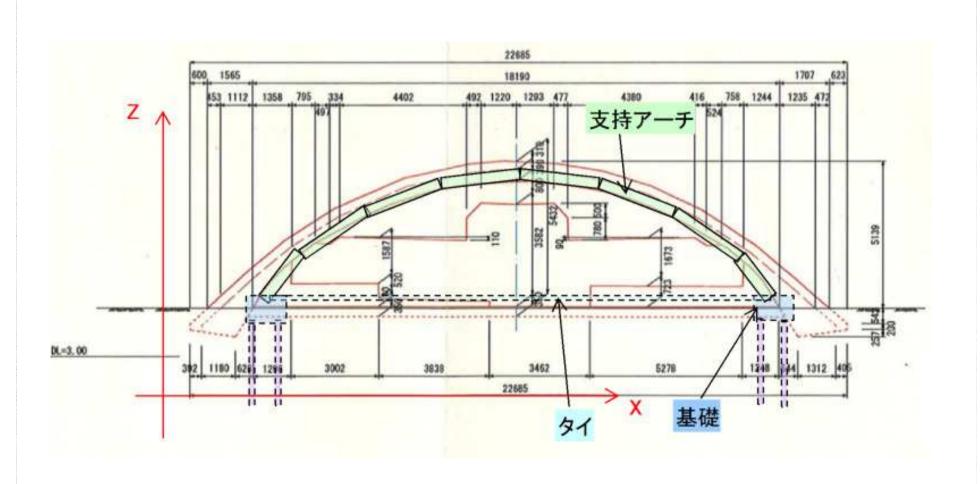


NS成分

EW成分

UD成分

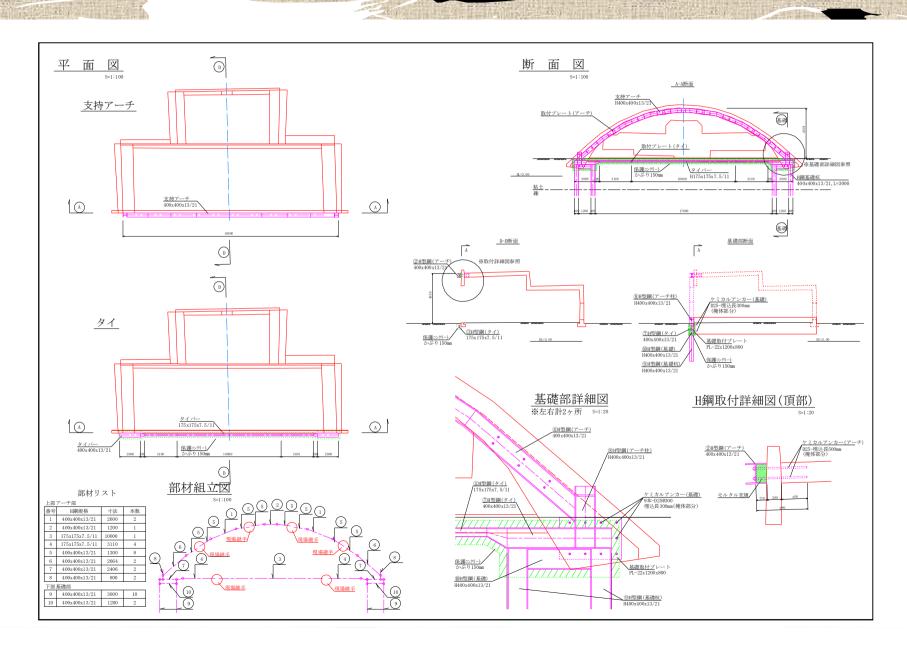
掩体支持アーチー骨組図



鉄骨アーチ補強検討結果

- 1. 掩体アーチに沿ってH400x400x13/21の鉄骨を掩体アーチ前面外側 に一面配置とする。
- 2. **下部アーチ間はH175x175x7.5/11のタイビームで結ぶ**。
- 3. 基礎に作用する鉛直力は長期の60.2tf、短期の75.2tfである。 基礎杭はH鋼400x400x13/21,L=3000mm,2本/片側である(合計4本)
- 4. 掩体アーチと鉄骨アーチは、片側につきD-25@300を9本、埋込長 300mmのアンカーで定着する。
- 5. 掩体アーチに作用する面外方向引張力は16kg/cmである。
- 6. 掩体アーチをクラック接着剤注入または炭素繊維貼付で一体化する。
- 7. 美観上の問題は残る。

鉄骨配置図



補修補強工法とその効果

- 1. 検討した工法を効果および経済性を考慮し、選択・組合わせにより決定。
- 2. 工法と効果
 - 1)基礎の股開き防止は必須。
 - 2)コンクリートは補強及び漏水対策として樹脂注入を行う。
 - 3)炭素繊維工・鉄骨工事は補強が目的であり、特に鉄骨工事は本格的耐震工事である。
 - 4)樹脂施工は漏水対策を十分行う。
 - 5)コンクリート床板-親杭工は、施工にあたり安全対策を十分に行う。
 - 6)鋼矢板-親杭工またはコンクリート-床板親杭工は行うのが良い。
 - 7) 掩体基礎工、コンクリート樹脂施工にあっては、鋼矢板-親杭工またはコンクリート床板-親杭工を前もって施工する。
 - 8)施工計画にあたっては、支保工等の安全対策を十分に講じる。

まとめ(調査結果)

- 1. アーチの前傾変形及び股開きが大きく、変形角が1/40の部材 (アーチ天端)もあり、構造的に限界である。
- 2. 表層地盤2.5m~2.7mはN値3程度の軟弱シルトであり地盤の 支持力が小さい。
- 3. アーチの前傾不等沈下・股開きにより、アーチ頂部内側の直線クラック、アーチ両側のx型クラック、中間隔壁中間部の水平クラック、 前面壁の切欠きコーナー部の応力集中クラック等、大きなクラックが 発生している。
- 4. コンクリートの劣化が顕著であり強度が小さい。
- 5. アーチ側面下部3m区間、中間隔壁、前面壁に鉄筋が存在するが、 前後方向の鉄筋はない。原則として板厚方向中間部に1列配筋。

まとめ(補強工法)

- 1. アーチ基部アーチ方向の押え盛土(1m)
- 2. 掩体前面に沿わせ鉛直支持杭(H=400,L=3m,2本/片側、計4本)
- 3. 股開き防止工(鋼矢板親杭工、コンクリート床板親杭工)
- 4. 樹脂注入工 (Vカット32.65m,ひび割れ注入174.22m,断面修復10.56m²)
- 5. 炭素繊維工(アーチ上面一層165m²)
- 6. 鉄骨補強 (鉄骨アーチH400,タイバーH175,鉄骨支持杭H400,L=3m,2本/片側、 計4本)
- 7. これらのうちから効果および経済性を考慮して選択・組合せを行う

今後の対応

- 1. 今後の実施事項
 - 1) 掩体保存の基本思想の明確化
 - 2)投資効果の把握
 - 3) 工法の決定
- 2. 維持管理
 - 1)日常点検と対応
 - 2) 中小地震時の地震時点検と対応
 - 3) 大地震時の地震時点検と対応
 - 4)豪雨等その他の自然災害時の点検と対応
 - 5) 点検項目:クラックの発生・変化、剥落、形状変化 沈下・股開き、補強箇所及びその周辺の変状 [目視による変状調査と寸法チェック]

他の掩体の検討方法

- 1~3号掩体、6号掩体:基本的に5号掩体と同じ
 - 1)調査項目

測量、スウェーデン式貫入試験、シュミットハンマーテスト コンクリートの目視観察

2)検討事項

盛り土工、基礎工、股開き防止工、コンクリート樹脂注入工 炭素繊維工、鉄骨補強など

4号掩体:4号掩体は大型であり劣化(特にクラック)が激しいため、 変状、地質、基礎の状況、鉄筋の状況など詳細に調査を行い 5号掩体と同程度の補強検討を行う。

7号掩体:現在公道として使用中であるので既存の補強工も含め詳細調 査を行い対策を検討することが望ましい。

ご清聴 ありがとうございました。