

**新設構造物に発生する
ひび割れ抑制対策の実態について
(下水道処理施設 地下躯体)**

勝井建設株式会社

吉廣 幸司

- p.1 ~ p.3 1. 新設構造物に発生ひび割れ補修の闇
- p.4 ~ p.11 2. 実例1(とある現場の下水道処理施設地下躯体)
 - p.4 ~ p.7 -1. 躯体サイズ・現場条件など・・・壁厚・設計配合と設計の鉄筋比
 - p.8 -2. 設計はどうか？ 温度応力解析にて照査
 - p.9 ~ p.10 -3. 各壁の対策の協議
 - p.11 -4. 対策後の結果(ひび割れの発生・補修などについて)
- p.12 ~ p.31 3. 実例2(とある現場の実例1と同じ発注者からの同工事での施工事例)
 - p.12 ~ p.15 -1. 躯体サイズ・現場条件
 - p.16 ~ p.17 -2. 壁の厚さ・設計配合と設計の鉄筋比
 - p.18 ~ p.21 -3. 設計ではどうか 温度応力解析にて照査
 - p.22 ~ p.28 -4. ひび割れに対しての検討・対策の流れ
 - p.29 ~ p.30 -5. 決定した対策
 - p.31 -5. 脱型後の状況
- p.32 4. おわりに

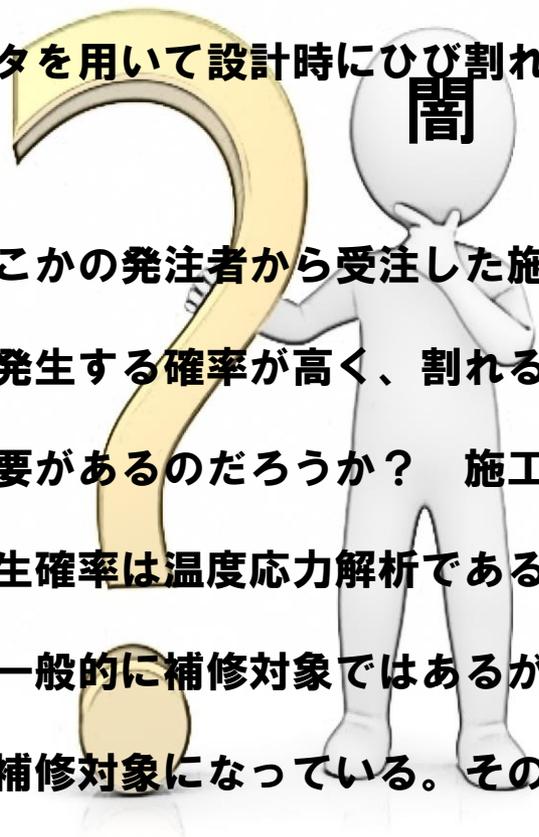
1.新設構造物に発生ひび割れ補修の闇

これは山口県の発注する工事のことではありません。

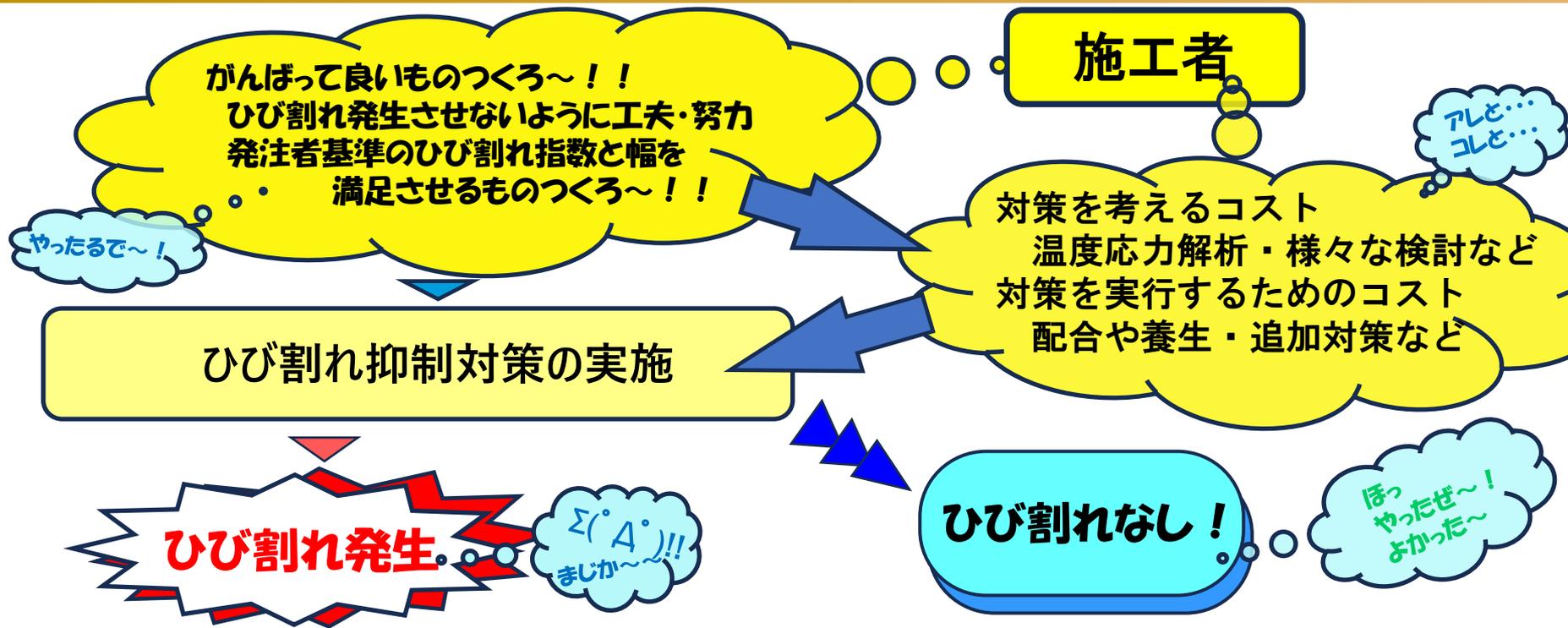
山口県工事の発注する工事では発生するひび割れは全て施工者のせいとは考えてないよう
ですし既往の構造物のデータを用いて設計時にひび割れ抑制対策を講じているようです。

どうでしょうか？ もしどこかの発注者から受注した施工する新設構造物が、もとの設計通り
施工した場合にひび割れが発生する確率が高く、割れるようになっている設計のものを
受注者の責で全補修する必要があるのだろうか？ 施工が悪いからといわれる可能性もある
けど、設計時のひび割れ発生確率は温度応力解析である程度傾向がわかります。

0.20mmを超えるひび割れは一般的に補修対象ではあるが、漏水を伴うひび割れについて
はおおよそ、どの発注者も補修対象になっている。その場合ひび割れ幅に関係なく0.01mmで
あれ補修対象ではないのだろうか。 という闇



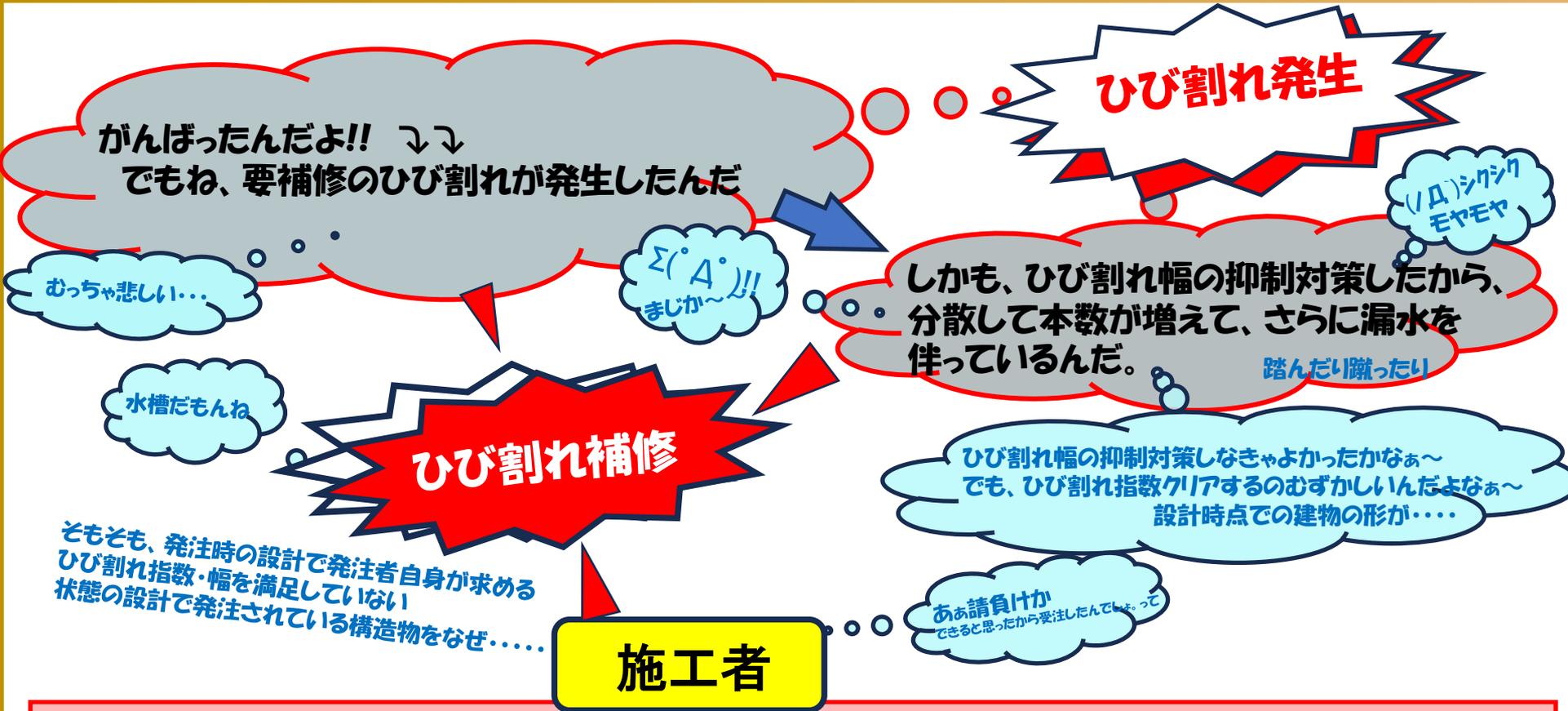
1.新設構造物に発生ひび割れ補修に対しての施工者のはてな(聞)



幅Wが0.20mm以下	▶ 許容範囲 補修無し	▶ 努力が報われる ... せ~ふ
幅Wが0.20mmを超える	▶ 要補修	▶ ひび割れ幅の制御対策をした場合はひび割れの本数が増え、延長が増えるため補修費の増・工程の圧迫 補修費負担・工期圧迫
幅Wが0.20mm以下だが漏水あり	▶ 要補修	▶ ひび割れ幅に関係ない為、ひび割れ幅の制御対策をした場合は、ひび割れが分散され発生本数が増え補修延長が増えるため補修費の増・工程の圧迫 補修費負担・工期圧迫

努力が報われず頑張った先が
とっても悲しいことに...

1.新設構造物に発生ひび割れ補修に対しての施工者のはてな(聞)



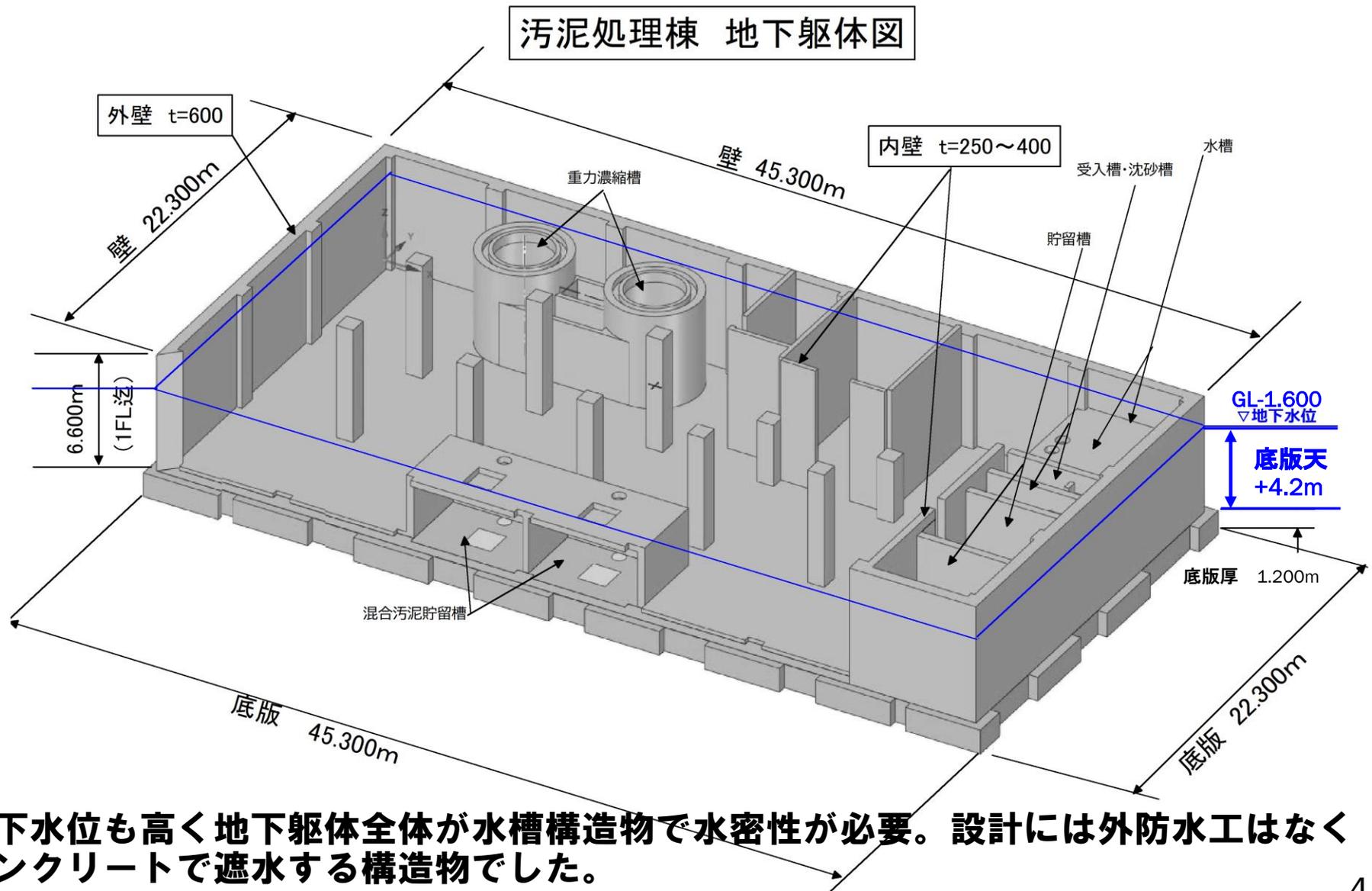
施工者

受注者が温度応力解析して対策を考えて協議で対策費を変更追加され施工したとしても、補修に係わる費用は、ほとんどの場合(自費)持出し・さらに工程も圧迫するという事に。

これは究極ですが、何も対策をせず、太いひび割れを発生させてそれを補修したほうがコストも工程も掛からないという事になります。

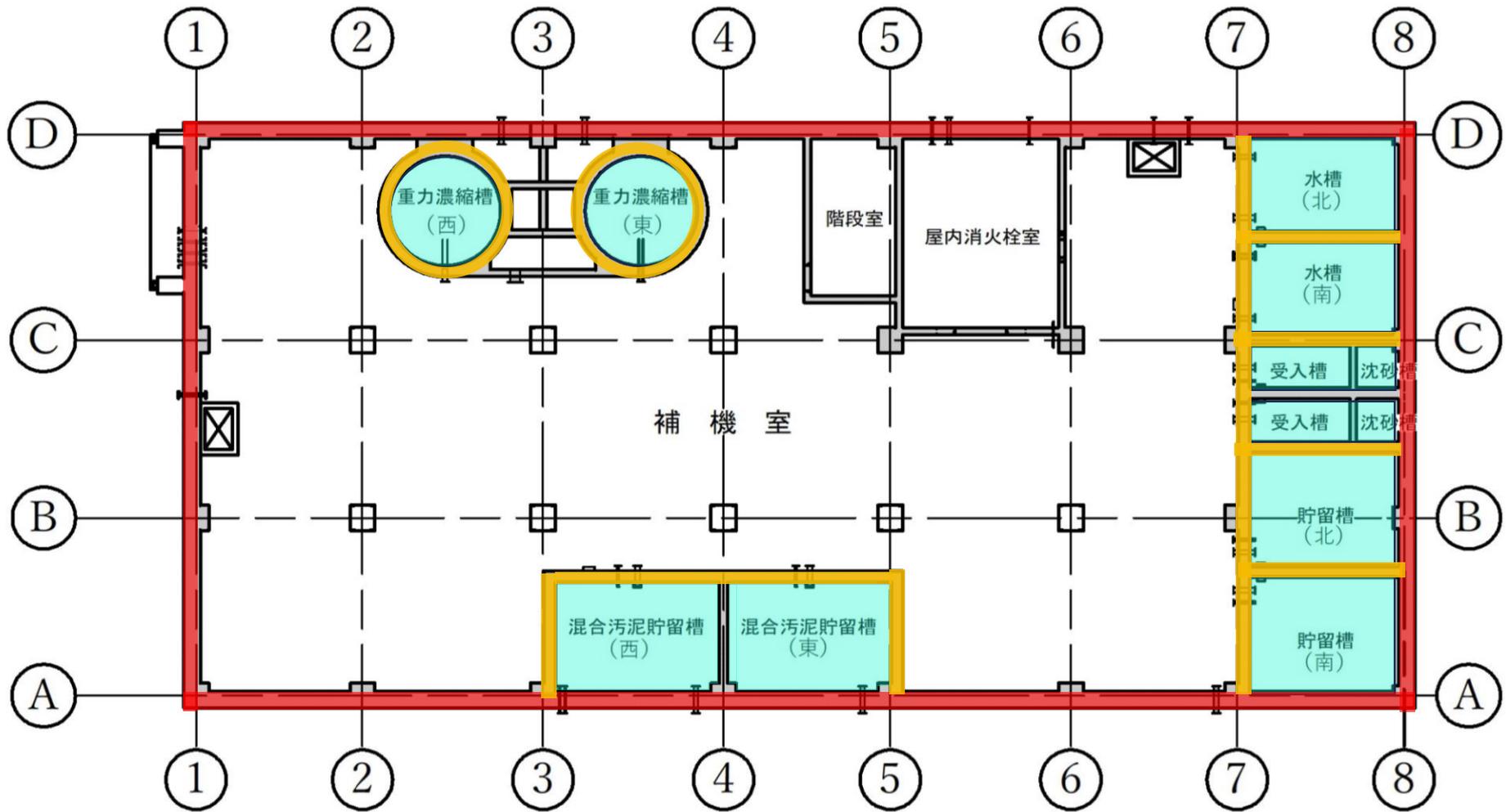
2-1. 躯体サイズ・現場条件

-1) とある現場の施工した地下躯体 形状・大きさ



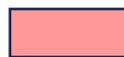
2-1. 躯体サイズ・現場条件

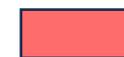
-2) とある現場の施工した地下躯体 形状・大きさ



 着色部は躯体内の水槽となっていて水密性が必要。

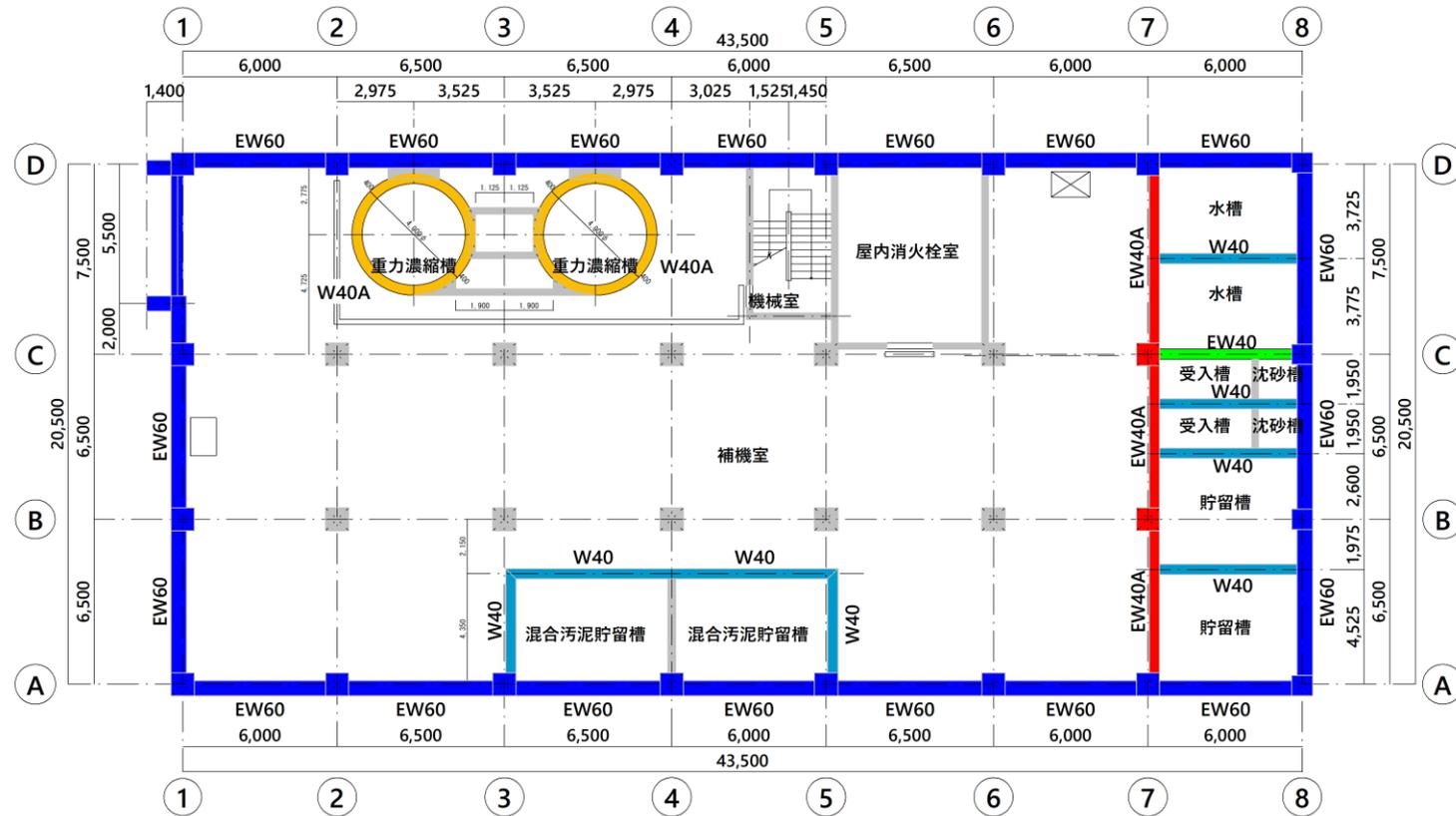
 壁厚40cm

 着色部の壁は外(地下水)からの水槽となっていて水密性が必要。

 壁厚60cm

2-1.壁の厚さ・設計配合と設計の鉄筋比

-3) とある下水道処理施設の地下躯体の平面図で壁部材を色分けで分けたものです。



設計鉄筋比の整理		鉄筋比 p			
色	部材名	壁厚	設計時 (壁金H5.0mとして)	マスコン扱い(対象か否か)	水位の影響
■	EW60	60cm厚	0.478%	50cm厚を超えているため対象という見解	地下水影響大
■	EW40A	40cm厚	0.497%	50cm厚に満たないため対象外という見解	水槽扱い
■	EW40	40cm厚	0.497%	//	水槽扱い
■	W40A	40cm厚	0.497%	//	水槽扱い
■	W40	40cm厚	0.547%	//	水槽扱い

2-1.各壁の設計鉄筋配筋リスト

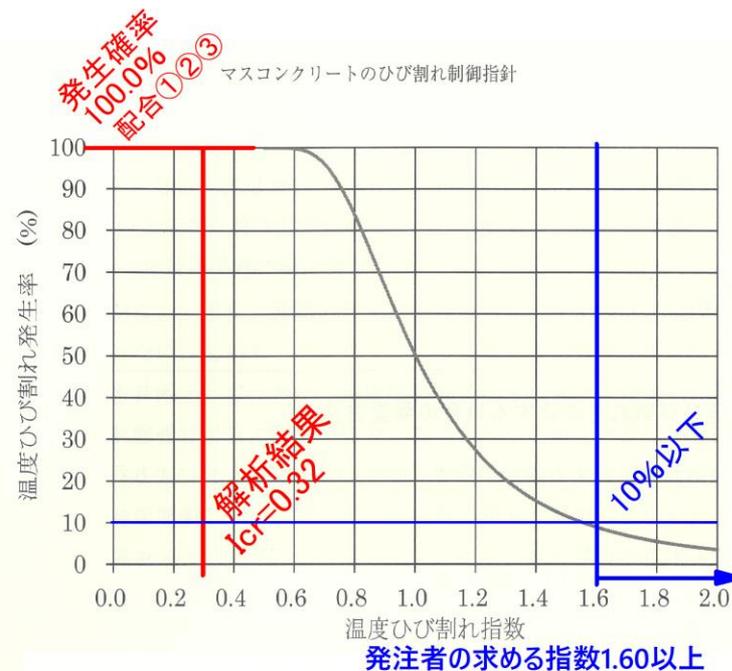
-4) その現場の壁の設計鉄筋配筋リストです。

壁リフト		壁厚60cm			壁厚40cm	
符号	EW60	EW40A	EW40	W40A	W40	
設計鉄筋比	H=5.0mリフトとして p=0.478% 壁リフト① p=0.478% 壁リフト② p=0.498%	H=5.0mリフトとして p=0.497% 壁リフト① p=0.497% 壁リフト② p=0.518%	H=5.0mリフトとして p=0.497% 壁リフト① p=0.497% 壁リフト② p=0.518%	H=5.0mリフトとして p=0.497% 壁リフト① p=0.518% 壁リフト② p=0.518%	H=5.0mリフトとして p=0.547% 壁リフト① p=0.497% 壁リフト② p=0.649%	
断面 (土木)						
	壁リフト① 2,600 壁リフト② 2,300 5,000 5,000 24@200 = 4,800 24@200 = 4,800 50 50 D13 (せん断補強筋) D13 (せん断補強筋) ※壁リフト全H=5.0mとして ※壁リフト全H=5.0mとして					
主筋	外側	D19@200W	D16@200W	D16@200W	D16@200W	D16@200W
	内側	D19@200W	D16@200W	D16@200W	D16@200W	D16@200W
配力筋	外側	D19@200W	D16@200W	D16@200W	D16@200W	D16@200W
配力筋	内側	D19@200W	D16@200W	D16@200W	D16@200W	D16@200W
せん断補強筋		D13@200	D13@150	---	D13@150	---
巾止筋		---	---	---	---	---
備考		地下躯体外周リ壁(外壁)	補機室・水槽仕切り壁(内壁)	C通⑦-⑧間水槽仕切り壁(内壁)	重力濃縮槽の円形壁(内壁)	水槽の低い壁(内壁)

2-2.当初設計はどうか？ 不条理か否かを照査しました。

- 1) 設計条件をもとに3次元温度応力解析を行った結果です。この発注者が自ら求める基準である『目標ひび割れ指数1.60以上または許容ひび割れ幅0.20mm以下』を満たしている設計であるのかを照査しました。

設計条件をもとに3次元温度応力解析の結果まとめ					
検討配合		設計	配合①	配合②	配合③
配合		24-12-20BB	27-12-20BB	27-12-20N	27-15-20N
JIS有無		標準配合			
管理材齢		28日			
混和剤					高性能AE減水剤
混和材					
使用セメント	種類	BB	BB	N	N
単位セメント量	kg/m ³	273kg	310kg	308kg	295kg
水セメント比	W/C	58%	53%	54%	55%
設計鉄筋比	p	0.478%			
発注者の基準(壁)		1.60以上 または 0.20mm以下			
目標ひび割れ指数	$lcr \cdot w a$				
許容ひび割れ幅					
解析結果からみる ひび割れ指数及び 発生確率とひび割れ幅					
解析結果 最小ひび割れ指数	lcr	-	▶ 0.31	▶ 0.31	▶ 0.32
ひび割れ発生確率P(lcr)	%	-	100%	100%	100%
最大ひび割れ幅の予測値	wc	-	0.33mm	0.33mm	0.33mm
判定	OK/NG	W/CでNG	NG	NG	NG



解説図-4.3.1 温度ひび割れ指数と温度ひび割れ発生率との関係 (発注者の仕様書は2016年版に準拠)

配合別に解析していますが発注時の設計では、ひび割れ指数 $lcr = 0.32$ 程度となっていますので、ひび割れ発生確率の曲線でいうと 100%の確率で、許容幅の0.20mmを超える0.33mm程度のひび割れが発生することになる結果でした。

2-3.壁の対策（ひび割れ制御鉄筋の配置）方針で協議

-1) ひび割れ制御鉄筋を追加配筋して最大ひび割れ幅が許容ひび割れ幅以下となるように検討し照査した配筋図です。これをもとに発注者に提案し協議をしました。

		壁厚60cm		壁厚40cm	
壁リスト		EW60		EW40A	W40A
符号		EW60		EW40	W40
断面 (土木)		<p>H=5.0mリフトとして p=0.478%</p> <p>壁リフト① p=0.478%</p> <p>壁リフト② p=0.498%</p> <p>ひび割れ制御鉄筋の追加による鉄筋比 p</p> <p>▶ 壁リフト① p=0.834%</p> <p>▶ 壁リフト② p=0.872%</p> <p>↑ 対策を提案し発注者と協議 ↑</p> <p>ひび割れ制御鉄筋D16</p> <p>↑ 協議変更対象に！</p> <p>対策が可能に！ この追加配筋図で 実施工を行った。</p>		<p>H=5.0mリフトとして p=0.497%</p> <p>壁リフト① p=0.497%</p> <p>壁リフト② p=0.518%</p> <p>ひび割れ制御鉄筋の追加による鉄筋比 p</p> <p>▶ 壁リフト① p=0.765%</p> <p>▶ 壁リフト② p=0.750%</p> <p>↑ 対策を提案し発注者と協議 ↑</p> <p>協議対象にならず！</p> <p>対策できず 設計配筋で施工 となった。</p>	
主筋	外側	D19@200W		D16@200W	---
	内側	組立用縦鉄筋 D16@200W (下部固定無し)			
配力筋	外側	D19@200W		D16@200W	
	内側				
制御鉄筋	外側				D13@200W
	内側	D16@200W			
せん断補強筋		D13@200 (ある場合)		D13@150 (ある場合)	
巾止筋		---		---	
備考		地下躯体外周り壁(外壁)		補機室・水槽仕切り壁(内壁) C通⑦-⑧間水槽仕切り壁(内壁)	重力濃縮槽の円形壁(内壁) 水槽の低い壁(内壁)

2-3.壁の対策（ひび割れ制御鉄筋の配置）方針の解析結果

- 2) ひび割れ制御鉄筋を追加配筋し最大ひび割れ幅が許容ひび割れ幅以下となるように照査した結果表です。鉄筋比を0.83%～0.87%と多く配筋していますので、ひび割れ指数は0.32と低く100%ひび割れが発生する結果ですが、予測される最大ひび割れ幅は0.12mmとなり0.20mmを下回る結果となっています。

解析結果

ひび割れ制御対策（ひび割れ制御鉄筋）							
検討配合		設計	配合①	配合②	配合③	配合④	
配合		24-12-20BB	27-12-20BB	27-12-20N	27-15-20N	27-15-20N	
混和剤		-	-	-	高性能AE減水剤	-	
単位セメント量	kg/m ³	273kg	310kg	308kg	295kg	321kg	
水セメント比	W/C	58%	53%	54%	55%	54%	
目標ひび割れ指数・許容ひび割れ幅		lcr・w a 1.6以上 または 0.2mm以下				←	
鉄筋比（ひび割れ対策あり）		p 0.83～0.87				←	
解析結果 ひび割れ指数		lcr	-	0.32	0.32	0.32	0.31
ひび割れ制御対策ありでの解析結果		▶	NG	NG	NG	NG	
4.3.4式を用いて最大ひび割れ幅の予測値の照査		$w_{cat} = \gamma_a \left(\frac{-0.141}{p} + 0.0938 \right) \times (I_{cr} - 1.965)$ （土木学会）コンクリート標準示方書【設計編】p323（解2.2.1） （JCI）マスコリートのひび割れ制御指針2016 p57（解4.3.4）					
w c ≦ w a							
w c：最大ひび割れ幅							
w a：許容ひび割れ幅（0.20mm）							
γ a：安全係数、一般的に1.0							
最大ひび割れ幅の予測値（mm）	▶ wc	-	0.12	0.12	0.12	0.12	
判定	OK/NG	W/CでNG	OK	OK	OK	OK	

発注者の基準は0.20mm以下でしたが、地下水位が高いため漏水の抵抗を考慮して0.15mm以下となるようにしました。

鉄筋比をあげるだけです。数本の鉄筋を配置させるだけで違いがでるならと0.2mmを狙わず0.15mm以下を狙いました。

配合④は高性能AE減水剤無しを追加、配合①～③の結果を確認後、lcrは低いですが鉄筋比によりw cを調整できるならと

高性能AE減水剤を外し追加解析しました。

実施工は配合④で施工

2-4.対策後の結果（ひび割れの発生・補修などについて）

- 1) 対策を認められた60cm厚の壁にひび割れ制御鉄筋を追加配筋し発生する最大ひび割れ幅を分散させ許容ひび割れ幅の0.20mm以下に抑制できました。 実際には0.20mmを超えるひび割れの発生はなく、ただ分散した結果より、地下水位も高いことから外壁は漏水を伴いひび割れ本数も増え、止水補修となるひび割れ箇所が増加し工程や持出しの出費が増加することになりました。
(施工延長が伸びるため)
- 2) 対策を認められなかった40cm厚の壁ですが、ひび割れ制御対策は行えず設計通り配筋し施工しました。ひび割れ幅の分散はされなかったため、太めの幅0.20mm～0.35mm程度のひび割れが初期の段階で発生、後に太く成長し最終的には0.30mm～0.40mm程度と太くなりました。この、40cm厚の壁の多くは水槽の隔壁や仕切りの壁で水張り試験時(水道水)に漏水することになって試験を通過することができず、水抜き→水槽の内・外側からひび割れの止水補修→水溜め→水張り試験とサイクル工程が必要となり水道代と期間とひび割れの補修費用が必要となりました。

まとめ

※W/C≦55%以下の規定によりNG

部材	部材寸法 厚さ	打設時期			温度応力解析 JCMAC3	対 策	ひび割れの補修費
		箇所	解析計画日	実施打設日			
壁部①	0.60m 外壁	壁リフト1	7月1日	9月8日	実施3パターン	①生コンの配合変更 設計： 24-12-20BB W/C≦58%※ C=273kg 採用： 27-15-20N W/C≦54% C=321kg ②ひび割れ制御鉄筋の追加 リフト1： 基部付近によせて配置 リフト2： リフト全体に均等配置	補修費 約170万円
		壁リフト2	8月30日	12月2日			
		壁リフト3	9月21日				
壁部② (参考)	0.40m 内壁	壁リフト1	7月1日	9月8日	興味本位で実施	①生コンの配合変更 設計： 24-12-20BB W/C≦58%※ C=273kg 採用： 27-15-20N W/C≦54% C=321kg ②ひび割れ制御鉄筋の追加 (提案したが) 対策は無し	補修費 約450万円 水張り試験(水道代)約40万
		壁リフト2	8月30日	12月2日			
		壁リフト3	9月21日				

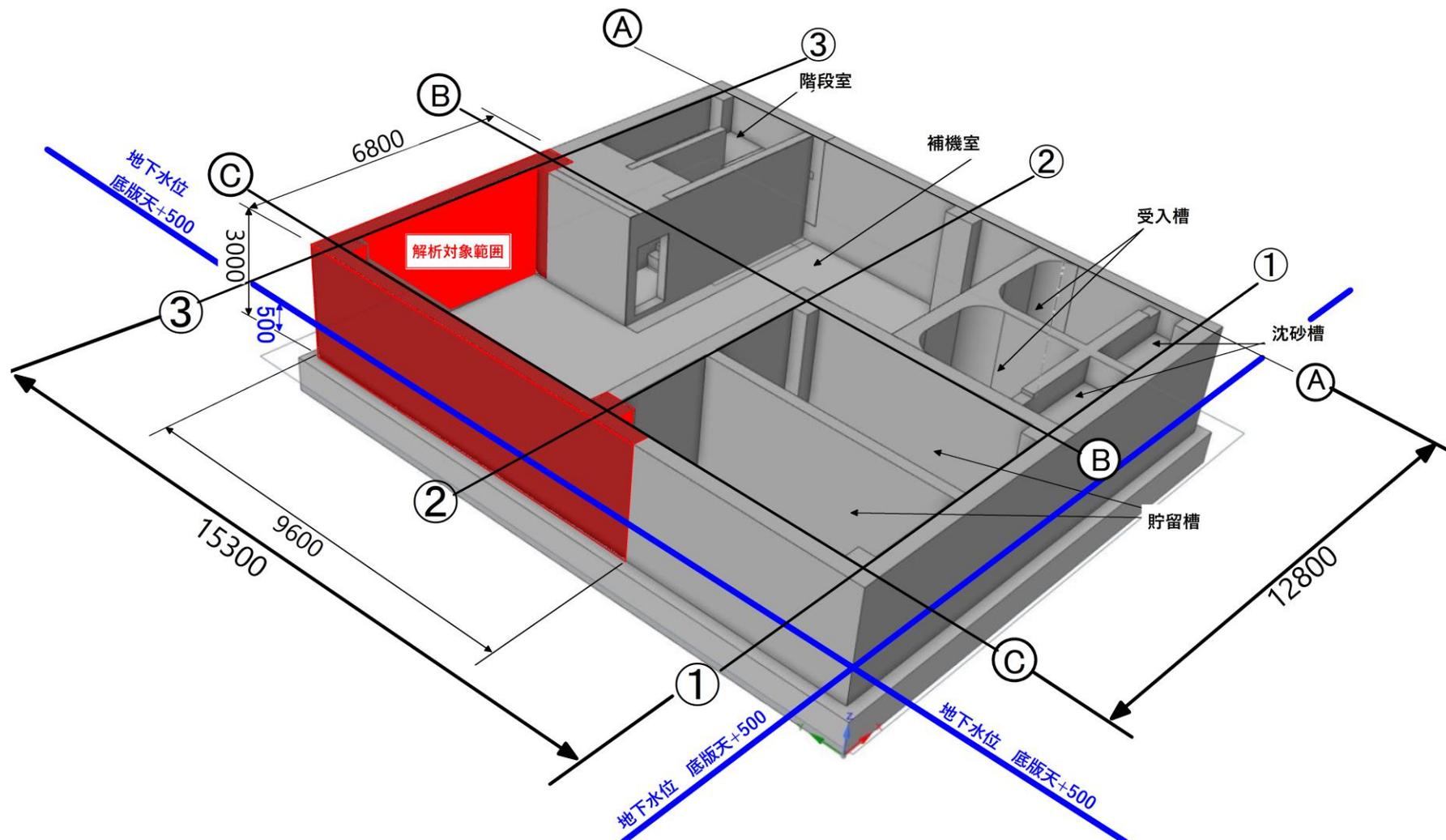
他影響 水張り試験 各槽2～3セット 止水完了までの期間 約2ヵ月 水槽容量：35,000ℓ～110,000ℓ

実例2

とある現場の実例1と同じ発注者からの同じような工事での施工事例

3-1.地下躯体構造（地下水位との関係）

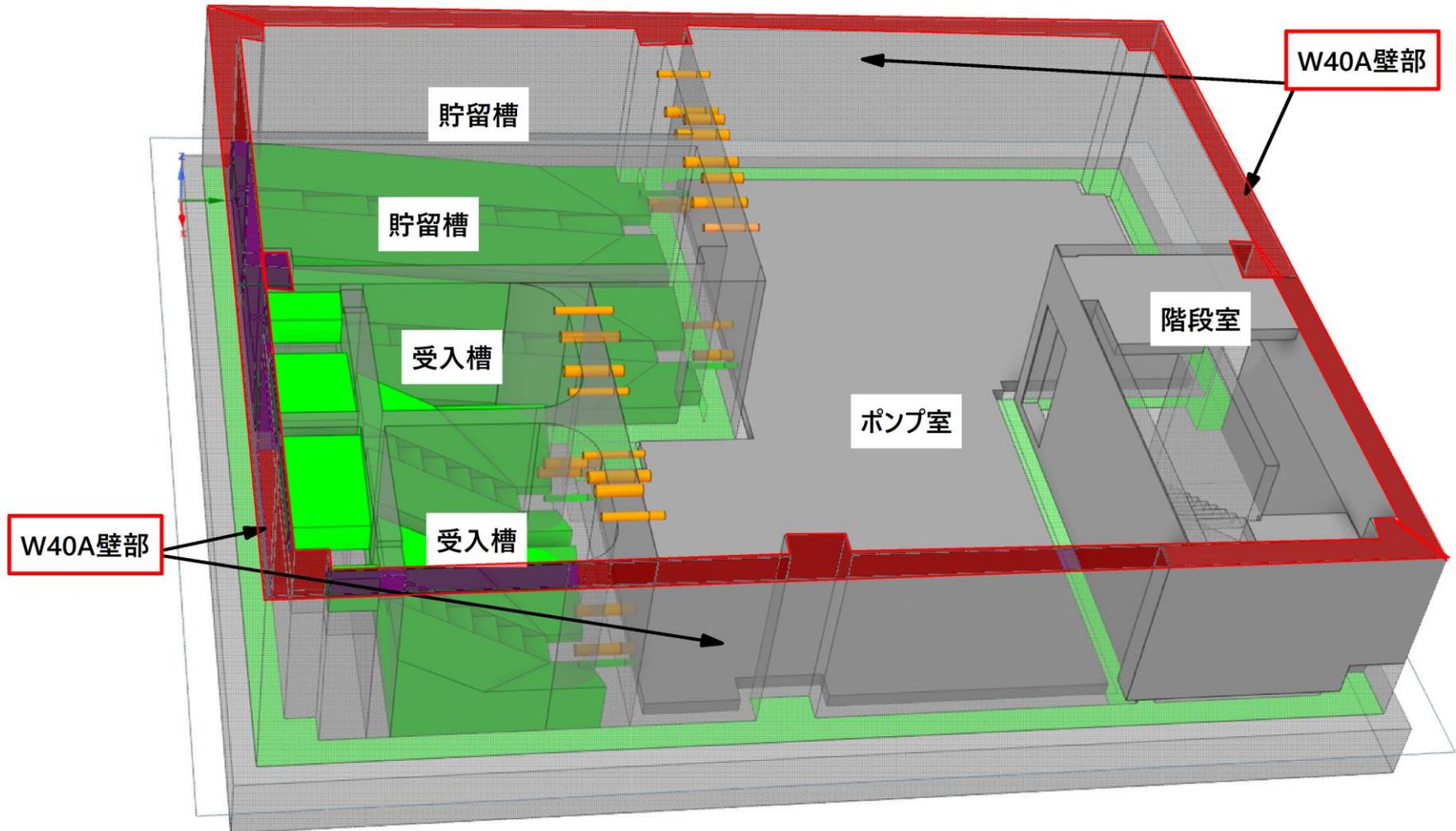
-1) とある現場の施工した地下躯体 形状・大きさ 外壁の下部分は地下水位以下のため影響あり



赤色着色部は壁の温度応力解析をした部分

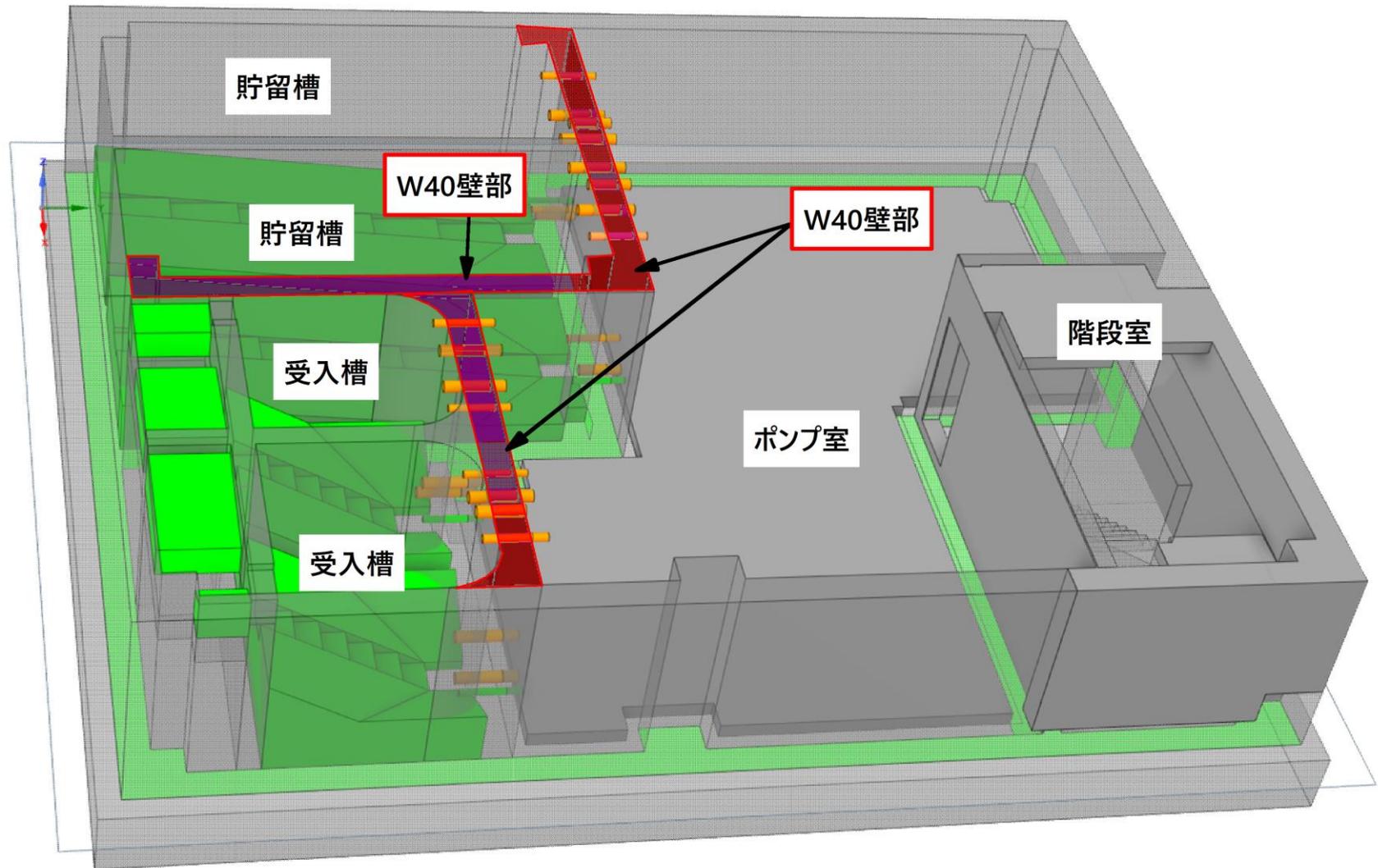
3-1.地下躯体構造（外壁）

-2) 外壁は地下水位の影響を受けます。 躯体内の施設の役割は以下



3-1.地下躯体構造（内壁・水槽との隔壁）

-3) 内壁は各水槽の隔壁で水密性が必須で重要となります。

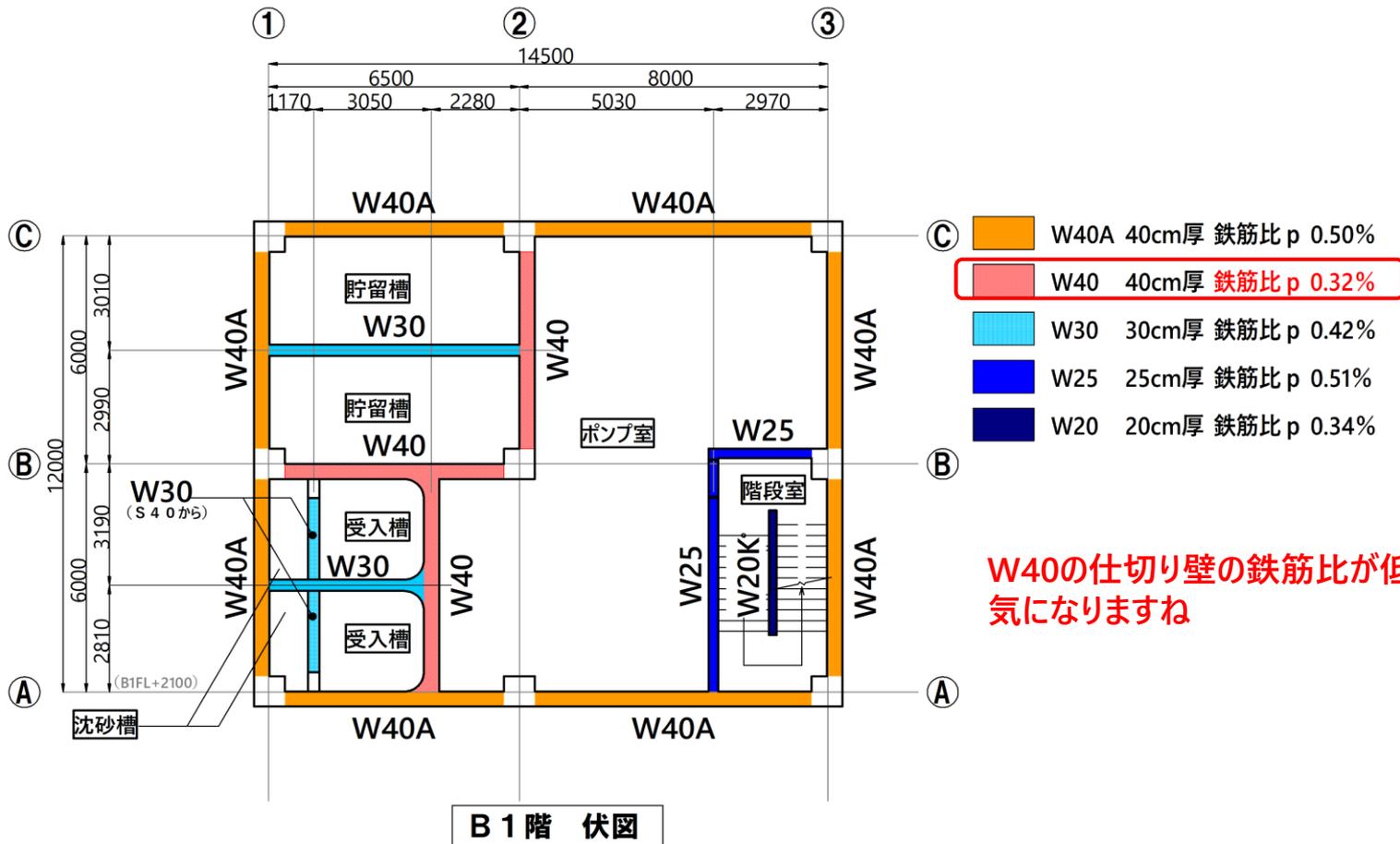


3-2.地下躯体の壁構造の設計鉄筋比 p (平面図)

-1) 各壁の鉄筋比

W40A外壁・W40内壁 同じ40cm厚の壁部ですが以下のように鉄筋比 p が異なります。

どちらの壁も水密性が必要になり、とても重要なはずですが、設計時にはひび割れは考慮せず設計されているようです。



3-2.地下躯体の壁構造の設計鉄筋比 p (断面図)

-2) 各壁の鉄筋比 壁の設計鉄筋配筋リストです。

壁リスト		W40A	W40	W30
断面 (土木)		<p>$p = 0.50\%$</p>	<p>$p = 0.32\%$</p>	<p>$p = 0.42\%$</p>
	縦筋	外側 内側	D19@200W	D19@200W
横筋	外側 内側	D16@200W	D13@200W	D13@200W
せん断補強筋		---	---	---
巾止筋		D13@1000	D13@1000	D13@1000
備考		地下躯体外周り壁(外壁)	ポンプ室・水槽仕切り壁(内壁)	水槽内仕切り壁(内壁)

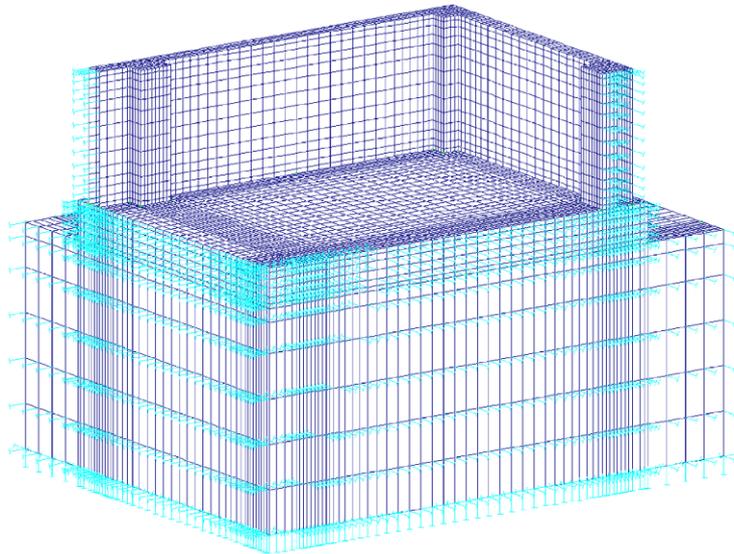
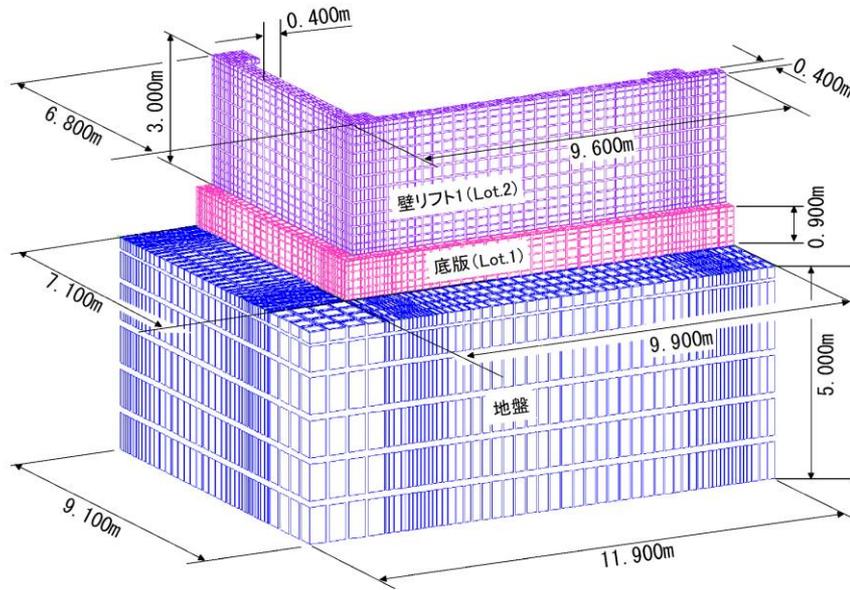
W40の仕切り壁の鉄筋比が低いのは、設計配力筋がD13だからです。

このD13をD16に変更することで鉄筋比を上げることができますが、発注者に確認申請が関連するため変更はNGとなりました。

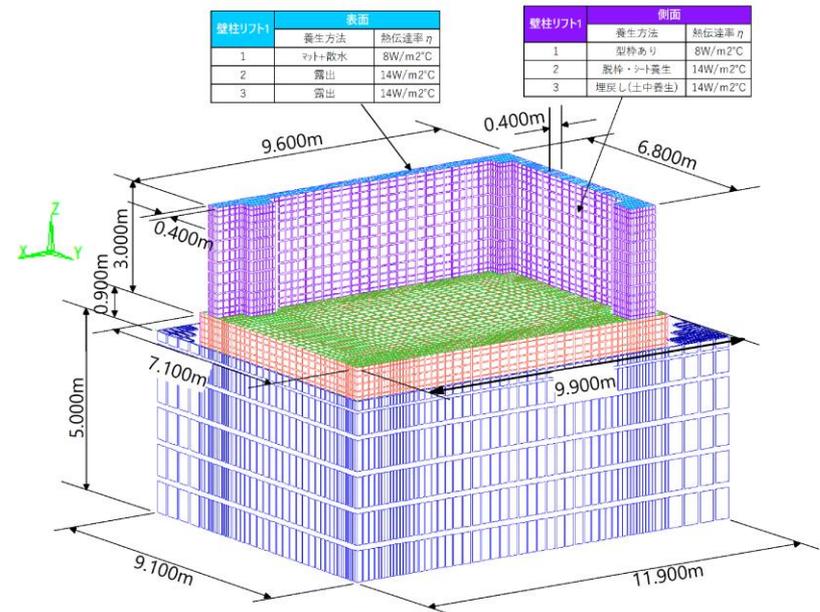
※壁リフトH=3.00m

3-3.壁の部分モデル

-1) 壁の部分解析のモデルです。

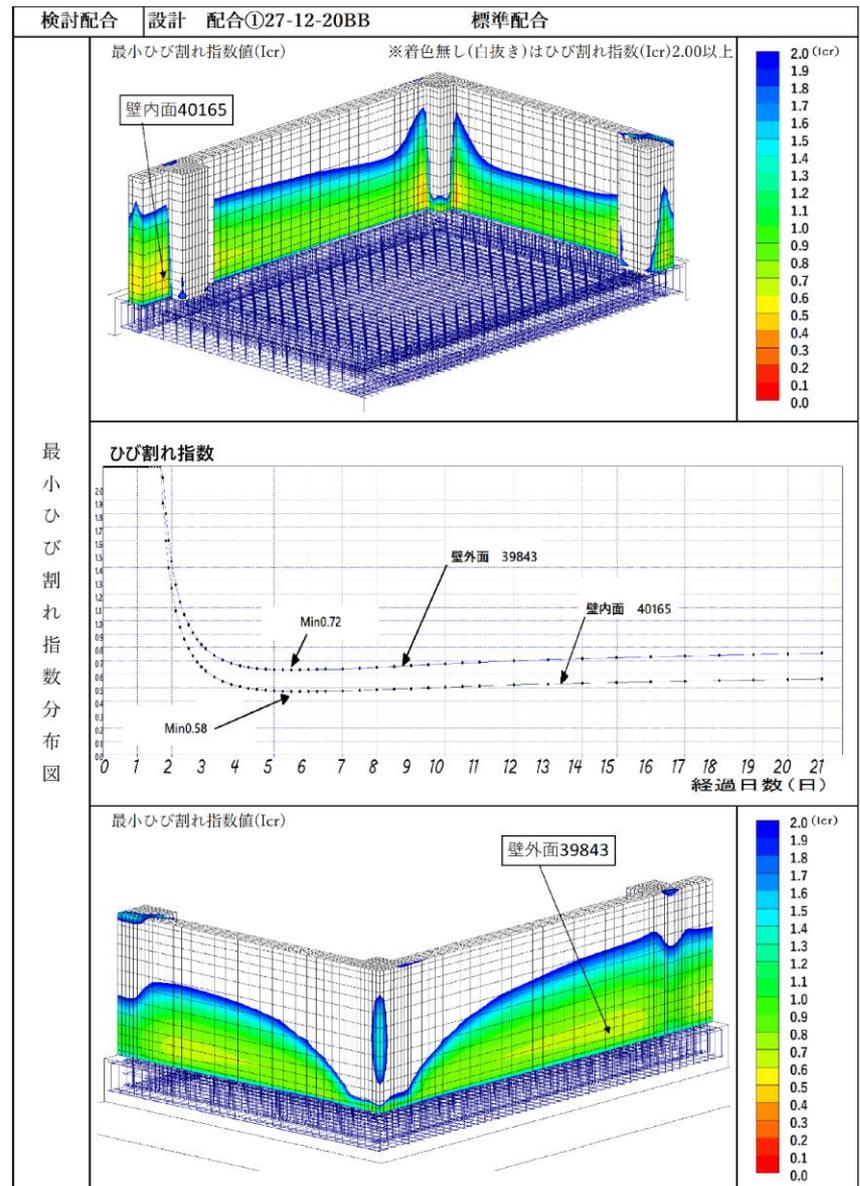
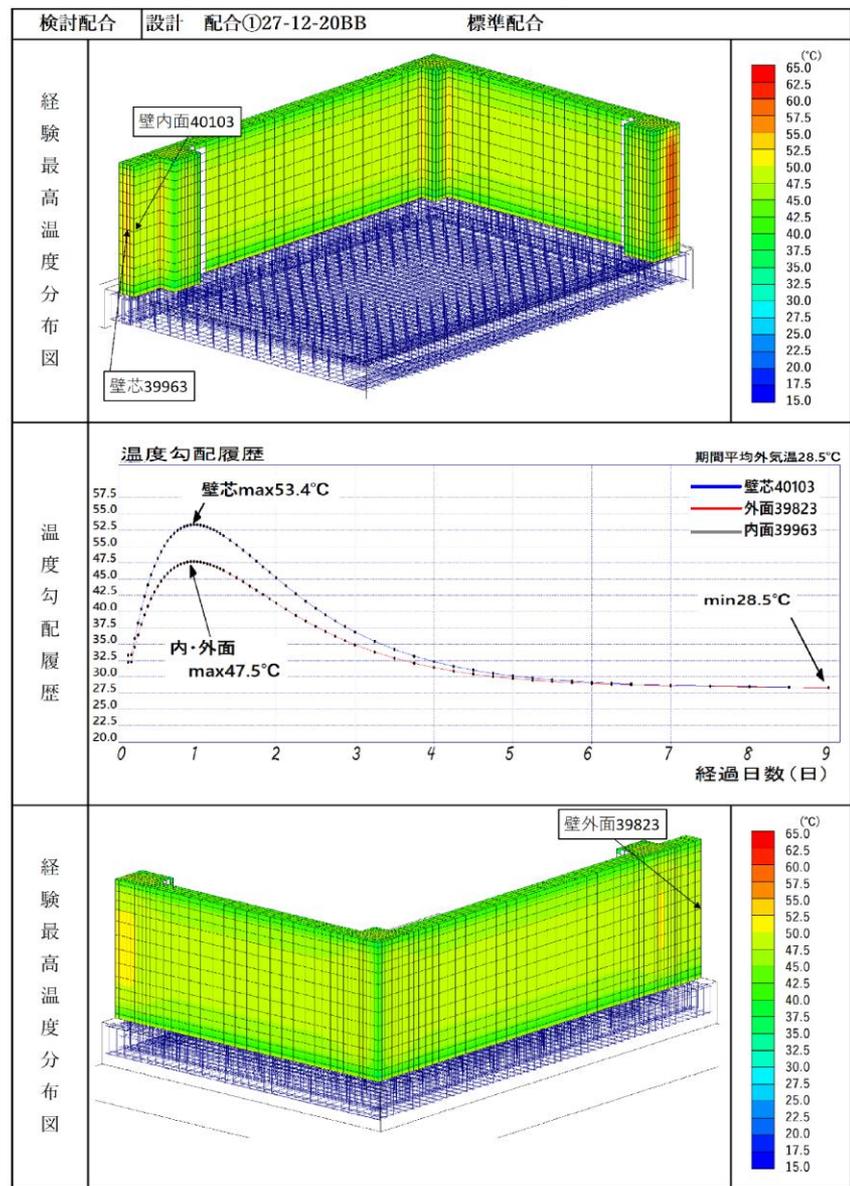


壁厚は40cmで、マスコン対象ではありませんが
前回現場では対策ができなかった水槽の仕切り壁
40cm厚壁に太めのひび割れが発生しましたので
対策を検討するために、本来3次元温度応力解析
の対象範囲ではありませんが、解析にて照査しました。



3-3.設計でのひび割れの発生確率はどうか照査してみました

-2) 設計条件でのひび割れの発生確率の照査



3-3.設計でのひび割れの発生確率はどうか照査してみました

-3) 設計条件での解析結果まとめ

1) 配合

当初設計の解析結果		設計	配合①
配合		24-12-20BB	27-12-20BB
混和剤			
混和材			
使用セメント	種類	BB	BB
単位セメント量	kg/m3	290kg	311kg
水セメント比	W/C	58%	54%
管理材齢	日		28
JIS有無			標準配合

2) 解析結果

解析結果まとめ			
設 計			
目標ひび割れ指数・許容ひび割れ幅	$l_{cr} \cdot w_a$	1.6以上 または 0.2mm以下	
設計鉄筋比 (W40A) 外壁	p	0.50	
解析結果 最小ひび割れ指数	l_{cr}	-	0.58
最大ひび割れ幅の予測値	wc	-	0.26mm
判定	OK/NG	W/CでNG	NG
設計鉄筋比 (W40) 仕切り壁	p	0.32	
最大ひび割れ幅の予測値	wc	-	0.48mm
判定	OK/NG	W/CでNG	NG

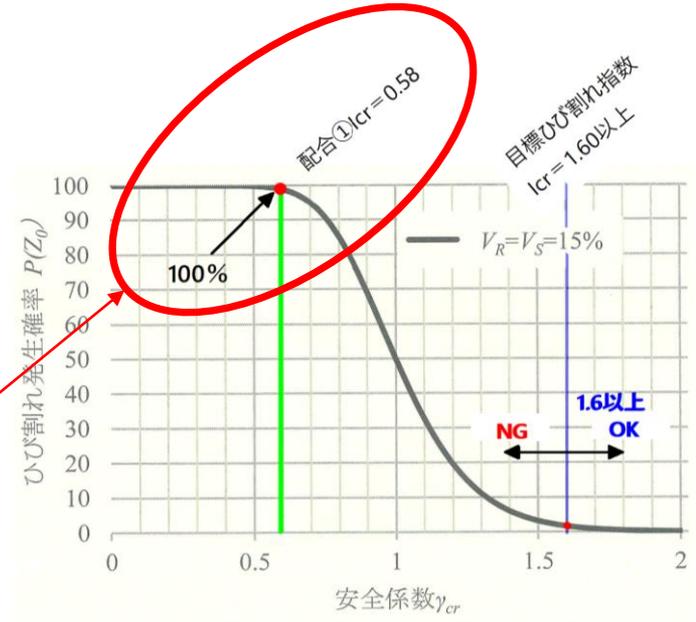


図 2.1.1 安全係数 γ_{cr} とひび割れ発生確率

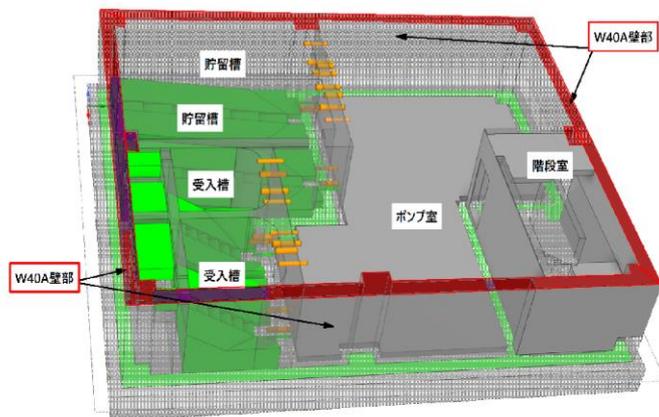
2022 年制定コンクリート標準示方書(設計編)P331 より引用 (図 2.1.1)

設計でのひび割れの発生確率は、ひび割れ指数0.58ですので100%の確率で、外壁のW40Aには最大0.26mm幅まで、仕切り壁のW40には最大0.48mm幅までのひびが発生するという、もともと割れる可能性が高い設計という結果。

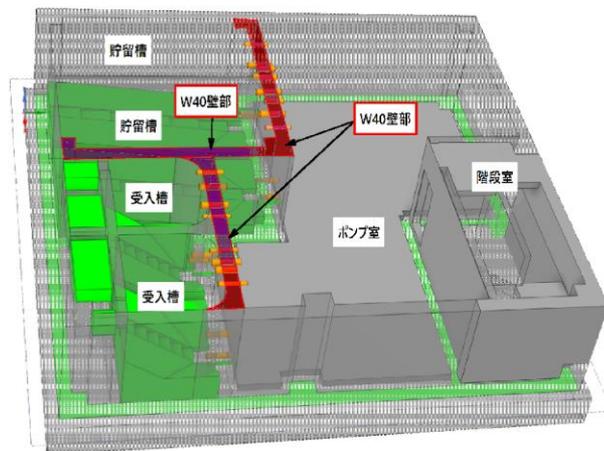
どうやら設計通り施工すると100%割れて0.20mmを超える幅のひび割れが発生するらしい
設計・発注時点で! ? もともと割れる!! ?

3-3.設計でのひび割れの発生確率はどうか照査してみました

-3) 設計条件での解析結果まとめ



鉄筋比 p が 0.50%ある W40A
の壁で、最大ひび割れ幅 0.26
mmで最小ひび割れ指数 0.6 以下
により発生確率 100%でひび割
れが入ることとなる。



また、W40Aと同断面である鉄
筋比 p が 0.32%の各水槽との仕
切り壁である W40 壁部では最
大ひび割れ幅 0.48 mmのひび割
れが、最小ひび割れ指数 0.6 以
下により発生確率 100%でひび
割れが入ることとなる。

以上の結果より、許容ひび割れ幅の 0.2 mm を超えているため対策が必要となる。

3-4. ひび割れ対策の検討

-1) 設計通りでは0.20mmを超えるひび割れが100%発生する結果となりましたので配合のみによる対策を検討

配合による対策 ②～④追加検討配合

No	検討配合		W/C(%) C (kg)	説明
-	NG ▶	設計配合 24-12-20BB JIS	58% 290kg	水セメント比55%以下の規定によりNG
①	NG ▶	27-12-20BB JIS	54% 311kg	設計配合を水セメント比で満足した高炉B配合。当初設計においての温度応力解析結果では、ひび割れ指数(Icr)及び予測される最大ひび割れ幅(Wa)ともにNG結果となり、温度ひび割れに対する対策が必要となった配合
②	追加 ▶	27-15-20N JIS	54% 322kg	設計配合より強度発現の早いポルトランドセメント(N)での検討 実施工で使用検討する混和剤※のAE減水剤遅延型(高性能タイプAE減水剤遅延型)ポゾリスマスターポリヒード15SR)を添加した配合で検討
③	追加 ▶	27-15-20N JIS外 膨張材20kg/m ³	54% 322kg (302+20)	検討配合②に収縮量の低減を考慮し膨張剤20kg/m ³ を入れた配合での検討 実施工で使用検討する混和剤※のAE減水剤遅延型1種(スランプ保持型混和剤フローリックSL20R)を添加した配合で検討
④	追加 ▶	27-15-20N JIS外 膨張材25kg/m ³	55% 322kg (297+25)	検討配合②よりも収縮量の低減を考慮し膨張剤25kg/m ³ を入れた配合での検討 実施工で使用検討する混和剤※のAE減水剤遅延型1種(スランプ保持型混和剤フローリックSL20R)を添加した配合で検討

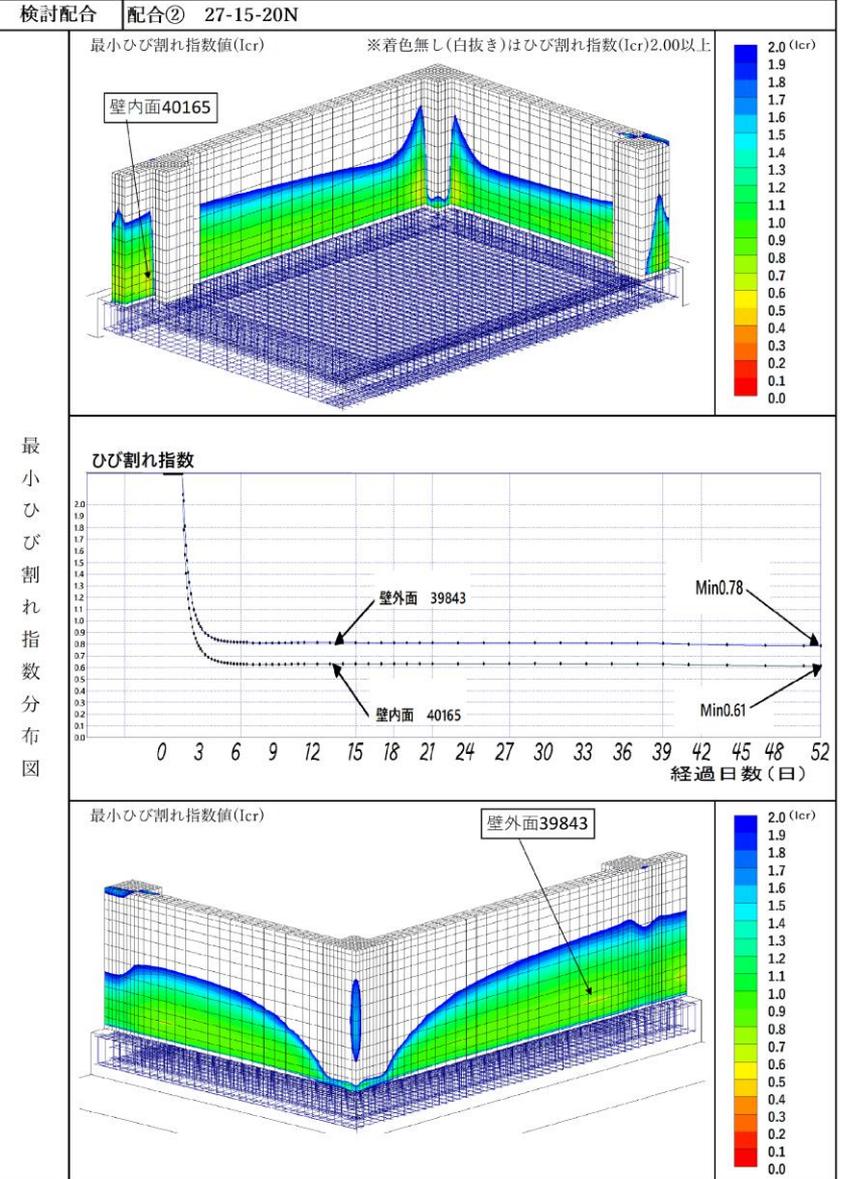
混和剤※は直接的に温度ひび割れ照査に関係ないが、実施工での予定打設日が9月初旬と気温の高い時期に打設となるため、実際に使用する配合として検討した。なお、追加検討配合とした3種類の配合②～④についてはあらかじめ試験練りを行い実施工の条件に合うかどうかを検討したうえで追加検討配合とし照査しました。

3-4. ひび割れ対策の検討

-2) 配合のみによる対策検討での照査

解析条件の一覧

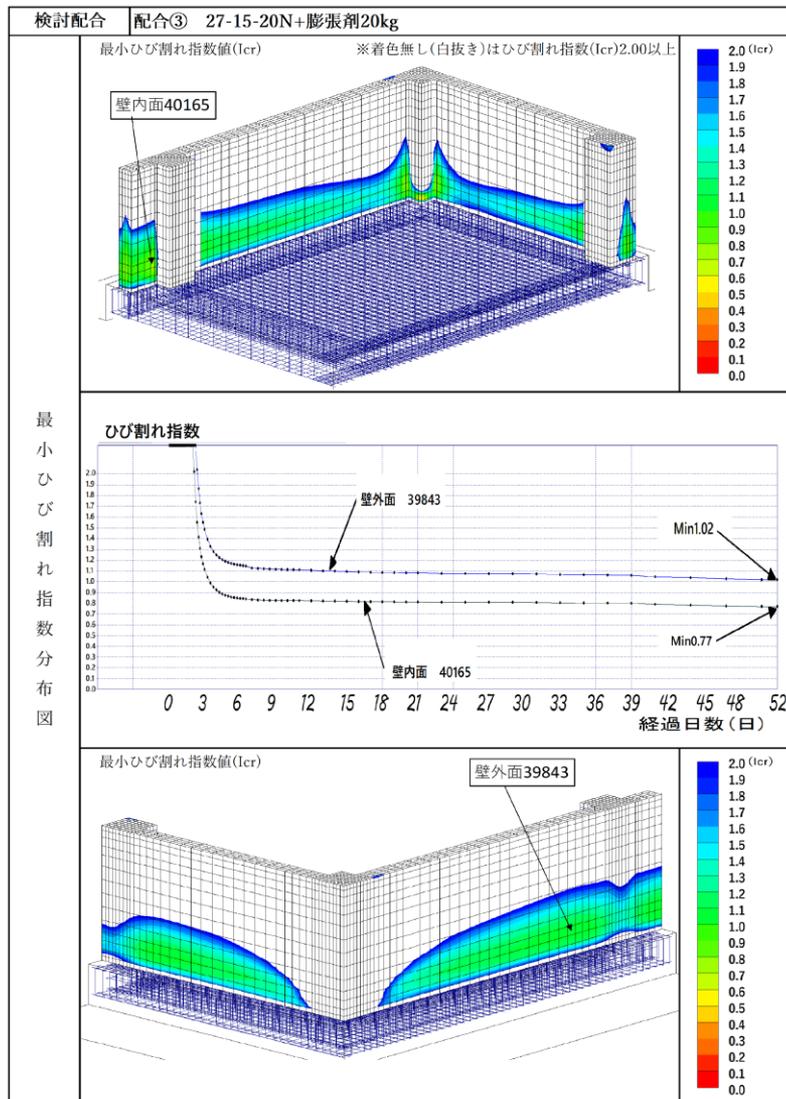
検討配合		測点：壁部				
配合	設計	配合①	配合②	配合③	配合④	
24-12-20BB	27-12-20BB	27-15-20N	27-15-20N	27-15-20N	27-15-20N	
混和剤				スランプ保持型	スランプ保持型	
混和材				膨張材20kg	膨張材25kg	
JIS有無	標準配合	標準配合	標準配合	JIS外	JIS外	
地盤の初期温度設定						
表面初期温度 (表面)	9月の平均気温	26.9 °C				
1層目	計算値	26.3 °C				
2層目	計算値	24.9 °C				
3層目	計算値	22.9 °C				
4層目	計算値	20.9 °C				
5層目	計算値	18.9 °C				
固定温度 (最下部)	年間平均気温	16.9 °C				
物性 (非発熱体) の設定 (地盤)						
伝熱物性	軟弱地盤種別値20以下として					
熱伝導率 (K)	W/m・°C	1.0				
比熱 (F)	kJ/kg・°C	2.6				
密度 (D)	kg/m ³	1800				
応力物性						
ヤング係数 (Y)	N/mm ²	48.7				
ポアソン比		0.45				
温度応力考慮する						
熱膨張係数	/°C	10 × 10 ⁻⁶				
物性 (発熱体) コンクリートの設定						
伝熱物性						
熱伝導率 (K)	W/m・°C	2.7				
比熱 (F)	kJ/kg・°C	1.15				
密度 (D)	kg/m ³	2400				
使用セメント	種類	BB	BB	N	N	
単位セメント量	kg/m ³	290kg	311kg	322kg	322kg(302+20)	
打込み温度	°C	外気温+5°C				
応力特性						
水セメント比	W/C	58%	54%	54%	54%	
管理材齢	日	28				
圧縮強度 係数a	a	(Jomac3自動計算値)	(Jomac3自動計算値)	(Jomac3自動計算値)	(Jomac3自動計算値)	
圧縮強度 係数b	b	(Jomac3自動計算値)	(Jomac3自動計算値)	(Jomac3自動計算値)	(Jomac3自動計算値)	
28日圧縮強度 f c	N/mm ²	(Jomac3自動計算値)	(Jomac3自動計算値)	(Jomac3自動計算値)	(Jomac3自動計算値)	
硬化原点に対応する有効材齢	日	0.3				
物性 (発熱体) コンクリートの設定						
引張強度 係数 c1	c1	0.13				
引張強度 係数 c2	c2	0.85				
ヤング係数 係数 C3	C3	6300				
ヤング係数 係数 C4	C4	0.45				
ポアソン比		0.2				
温度応力 熱膨張係数	考慮する	12 × 10 ⁻⁶		10 × 10 ⁻⁶		
クリープ φ (t)	考慮する					
有効弾性係数使用						
係数 te 最大	temax	0.42				
係数 te 最小	temax-1	0.65				
自己収縮	考慮する					
セメントの影響 係数	η	1.0				
凝結の始発日	t0	0.3				
係数 a	a	(Jomac3自動計算値)	(Jomac3自動計算値)	(Jomac3自動計算値)	(Jomac3自動計算値)	
係数 b	b	(Jomac3自動計算値)	(Jomac3自動計算値)	(Jomac3自動計算値)	(Jomac3自動計算値)	
係数 c	c	2350		3070		
係数 d	d	5.8		7.2		
膨張ひずみ						
終局値 U ∞	U ∞	-	-	考慮する一定則 110 × 10 ⁻⁶ N/mm ²	考慮する一定則 150 × 10 ⁻⁶ N/mm ²	
有効材齢 t ∞	∞	-	-	3	3	
係数 a	a	-	-	3	3	
係数 b	b	-	-	1	1	



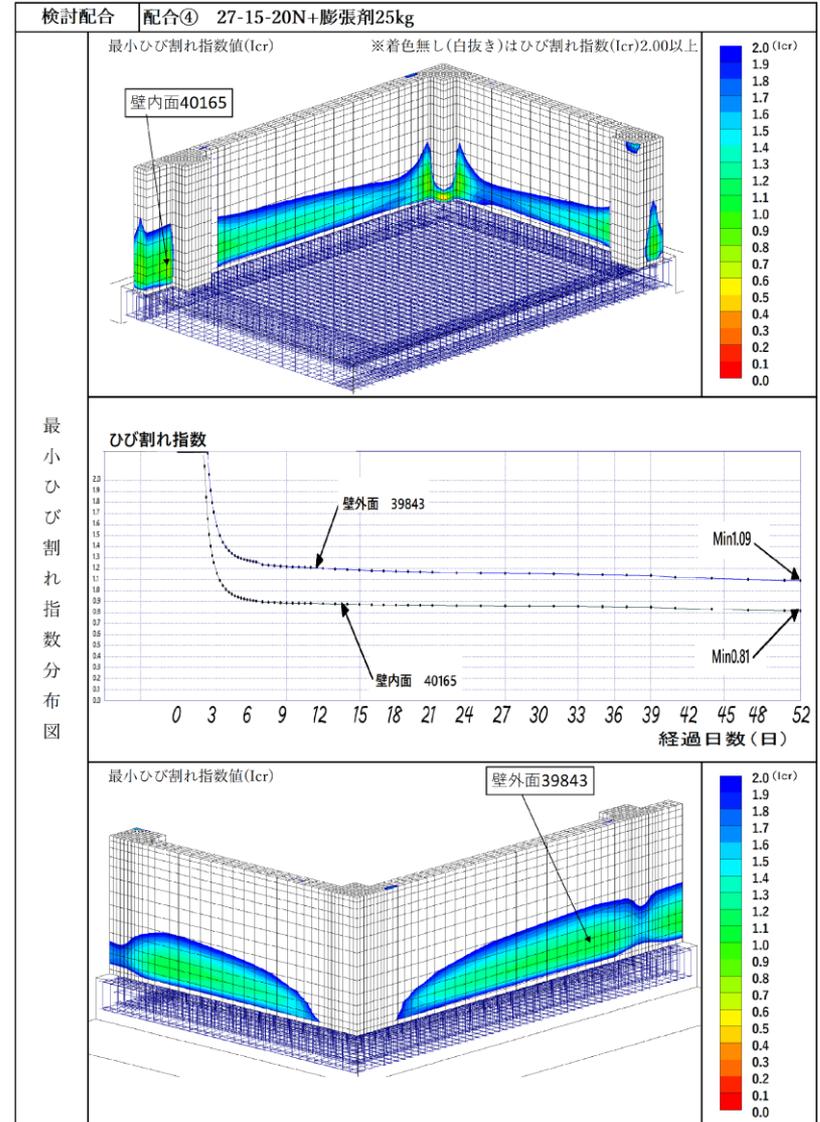
3-4. ひび割れ対策の検討

-3) 配合のみによる対策検討での照査

配合③ひび割れ指数分布図



配合④ひび割れ指数分布図



3-4. ひび割れ対策の検討

-4) 配合のみによる検討対策での解析結果

配合によるひび割れ対策の解析結果		設計	配合①	配合②	配合③	配合④
JIS有無		標準配合			JIS外	
管理材齢	日	28				
配合		24-12-20BB	27-12-20BB	27-15-20N	27-15-20N	27-15-20N
混和剤					スランブ保持型	スランブ保持型
混和材					膨張材20kg	膨張材25kg
使用セメント	種類	BB	BB	N	N	N
単位セメント量	kg/m ³	290kg	311kg	322kg	322kg	322kg
水セメント比	W/C	58%	54%	54%	54%	55%
目標ひび割れ指数・許容ひび割れ幅	$l_{cr} \cdot w_a$	1.60以上 または 0.20mm以下				
設計鉄筋比	p	設計鉄筋比 0.50%(W40A外壁)				
解析結果 最小ひび割れ指数	l_{cr}	-	0.58	▶0.61	▶0.77	▶0.81
ひび割れ指数の判定	OK/NG	W/CでNG	NG	NG	NG	NG
ひび割れ幅の判定 W40A	p	設計鉄筋比 0.50%(W40A外壁)				
最大ひび割れ幅の予測値(mm)	wc	-	0.26mm	0.26mm	0.22mm	0.22mm
判定	OK/NG	W/CでNG	NG	NG	NG	NG
ひび割れ幅の判定 W40	p	設計鉄筋比 0.32%(W40仕切り壁)				
最大ひび割れ幅の予測値(mm)	wc	-	0.48mm	0.47mm	0.41mm	0.40mm
判定	OK/NG	W/CでNG	NG	NG	NG	NG

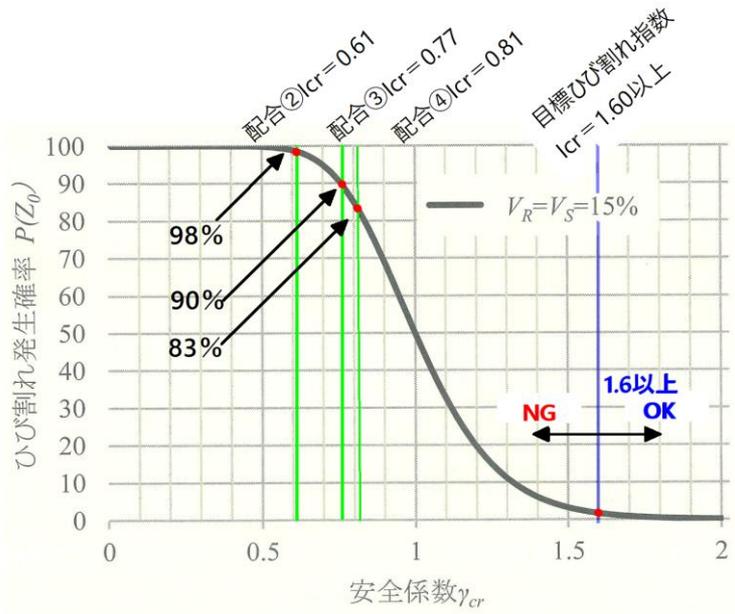


図 2.1.1 安全係数 γ_{cr} とひび割れ発生確率

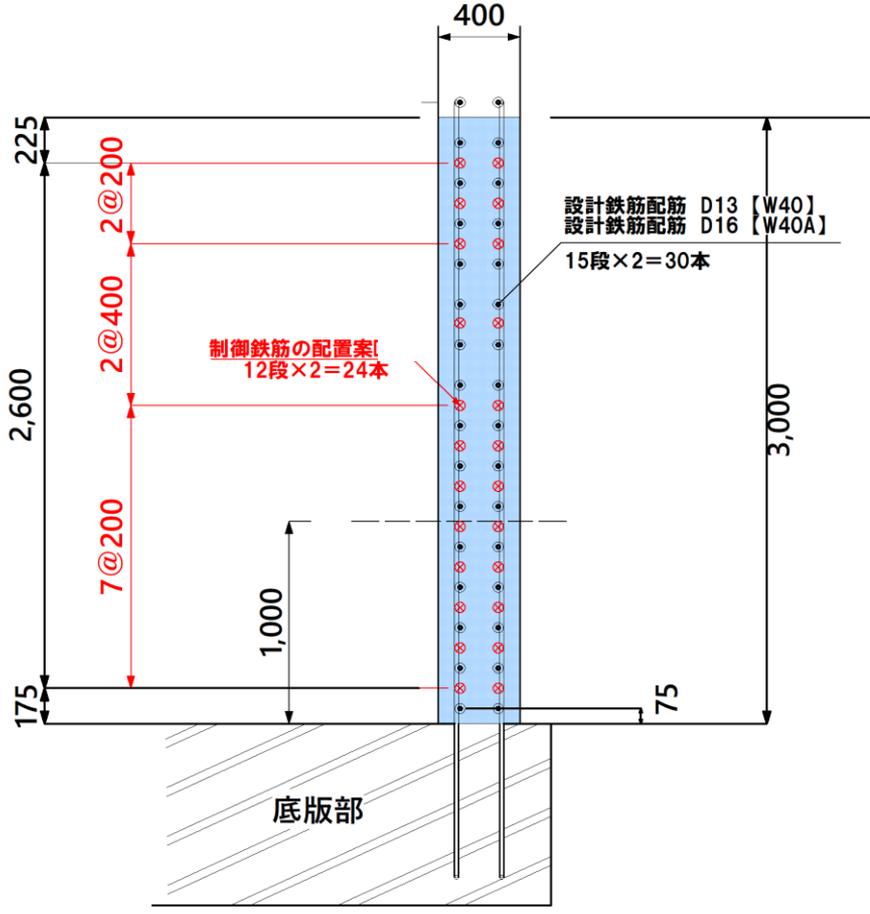
2022 年制定コンクリート標準示方書(設計編)P331 より引用

以上の結果より、配合による対策では若干のひび割れ指数向上がみられ発生確率は最高で83%と17%程度改善するも0.81であった。また、許容ひび割れ幅についても0.20mmを超えNGとなり、追加の対策が必要となりました。

3-4. ひび割れ対策の検討（ひび割れ制御鉄筋の追加配筋）

5) 追加対策としてひび割れ制御鉄筋の配筋追加による対策の検討

制御鉄筋の配置は、温度応力解析結果の分布図よりひび割れ発生のリスクの高い底版より上に少し離れたあたりから壁高さ中ほど迄と、壁延長のL/Hが4を超えると上から発生するリスクがあるため上側にもひび割れ制御鉄筋を配置した以下の配筋図で検討した。



W40A・W40Iにひび割れ制御鉄筋の追加配置

W40A	規格	呼び名	公称断面積	本数	断面積
壁リフト		D	s(mm ²)	N	(cm ²)
設計配力鉄筋	SD345	D16	198.6	30	59.58
ひび割れ制御鉄筋	SD295	D13	126.7	24	30.408
配力鉄筋断面積					
リフト面積	(壁厚400mm×リフト高さ3000) / 10,000 =				120.00
鉄筋比 p	89.99cm ²	/	120.0cm ²	=	0.75%

W40	規格	呼び名	公称断面積	本数	断面積
壁リフト		D	s(mm ²)	N	(cm ²)
設計配力鉄筋	SD345	D13	126.7	30	38.01
ひび割れ制御鉄筋	SD295	D16	198.6	24	47.664
配力鉄筋断面積					
リフト面積	(壁厚400mm×リフト高さ3000) / 10,000 =				120.00
鉄筋比 p	85.67cm ²	/	120.0cm ²	=	0.71%

W40壁の設計配力鉄筋D13をD16に協議変更しなかったのですが確認申請が関係するとの理由でNGとなったため制御鉄筋をD16で追加配筋しました。

鉄筋断面積表

呼び名	公称直径 d (mm)	公称周長 l (mm)	公称断面積 s (mm ²)	単位質量 (kg/m)	筋の平均間隔の最大値 (mm)
D10	9.53	30	71.33	0.560	6.7
D13	12.7	40	126.7	0.995	8.9
D16	15.9	50	198.6	1.56	11.1

3-4. ひび割れ対策の検討（ひび割れ制御鉄筋の追加） 解析結果

-6) 追加対策としてひび割れ制御鉄筋の配筋追加による対策の結果

鉄筋比 p を基に解4.3.4式により最大ひび割れ幅の予測値を照査しました。

配合によるひび割れ対策にひび割れ制御鉄筋を追加配置						
ひび割れ幅の判定		設計	配合①	配合②	配合③	配合④
許容ひび割れ幅	w_a	0.2mm以下				
W40A	p	対策鉄筋比 0.75%				
最大ひび割れ幅の予測値(mm)	w_c	-	0.13mm	0.13mm	0.11mm	0.11mm
判定	OK/NG	W/CでNG	OK	OK	OK	OK
W40	p	設計鉄筋比 0.71%				
最大ひび割れ幅の予測値(mm)	w_c	-	0.15mm	0.14mm	0.13mm	0.12mm
判定	OK/NG	W/CでNG	OK	OK	OK	OK

以上結果により、比較用抽出モデル(部分解析モデル)での追加対策をした最大ひび割れ幅の予測値の照査結果では配合①～④すべての配合が合格となりました。

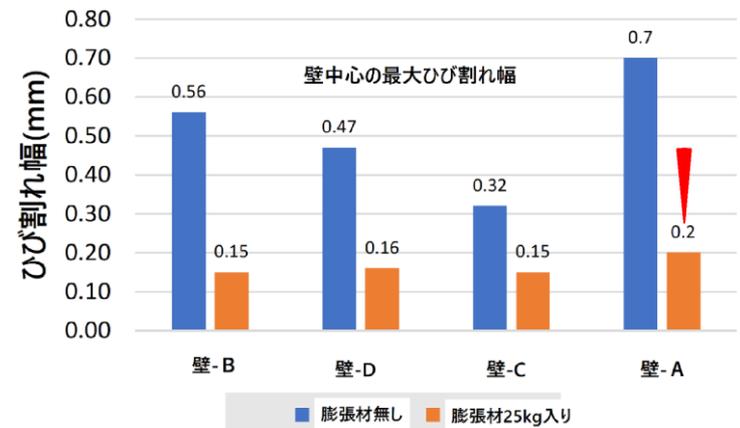
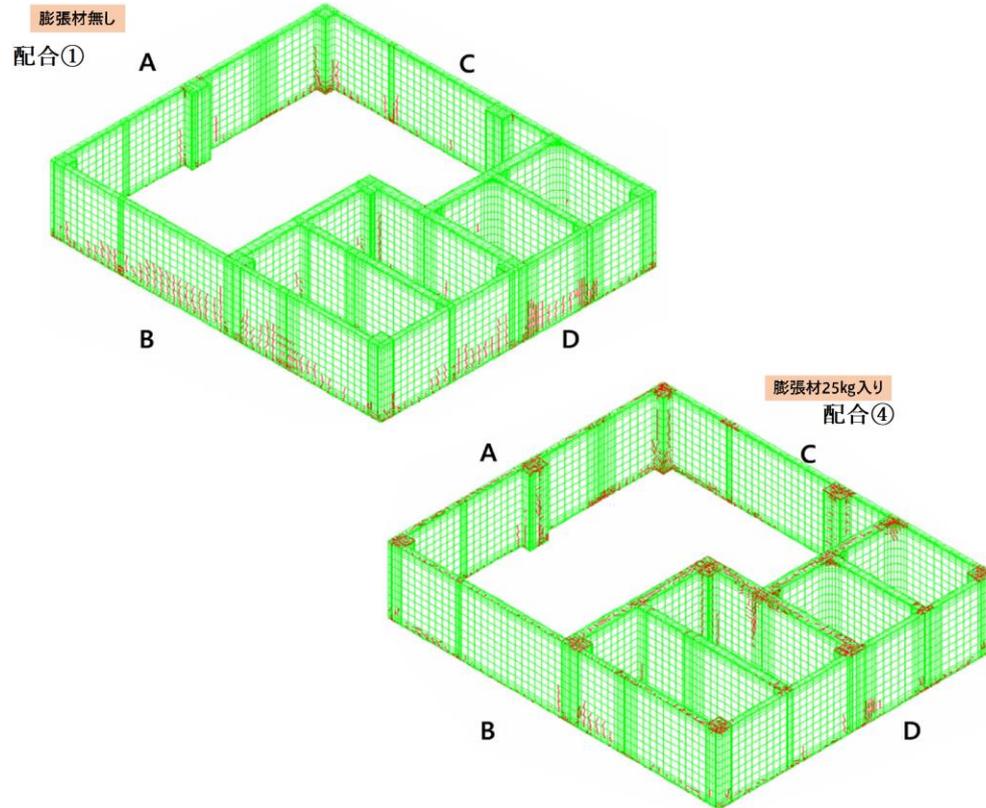
しかし、目標ひび割れ指数を満足することができない結果(部分解析での解析結果)となったため、ひび割れ制御鉄筋を考慮した対策後に発生するひび割れの傾向に留意するため、横浜国立大学、細田暁教授のサポートにより全体モデルを作成し3次元温度応力解析にてひび割れの幅の数値解析を行っていただきました。(結果は次のページ)

また、類似構造物ということで事例1の現場のひび割れ状況の視察をしていただき、事例2の現場のコンクリート温度応力解析に係る検討及び技術指導をしていただきました。

3-4. ひび割れ対策の検討（ひび割れ制御鉄筋の追加） 解析結果

-7) 追加対策としてひび割れ制御鉄筋の配筋追加による対策の結果

ひび割れ制御鉄筋の追加配置の対策済み解析結果
ひび割れ発生状況



対策方法の比較検討用1/4モデルでは発見できないが全体モデルでは厳しい箇所を見つけることができる。

全体モデルでは一番結果が良かった配合④+追加制御鉄筋では、予測される最大ひび割れ幅が、許容ひび割れ幅限界値の0.20mm幅となる箇所がありました。 JCMAC3による解析結果は絶対ではなく発生の傾向を知ることができますが施工側としては0.20mmが出たため配合は④にプラスして制御鉄筋にて鉄筋比を上げ施工することにしました。

3-5.決定した配合・対策

-1) 決定した配合・対策 決定配合は配合④

壁部の予定打設日は日平均気温が高い9月初旬となっており打設時において各層の打重ね、層ごとの一体化も課題となる。このため施工時に確実な打重ねを行えるようAE減水剤(遅延型1種)スランプ保持型混和剤の使用を検討し試験練りを行った。

試験練りでは施工時期のCTと気温環境に近づけた状態で静置によるスランプロス試験・打重ねに有効とされる0.1N/mm²強度発現迄の時間計測をプロクター貫入試験で確認を行い使用できる配合であるかを確認したのち本検討配合に採用している。

また、打継という重要な箇所に生コンクリートの打込みを行う際、ひび割れ制御鉄筋を追加した配筋がリフト内下部分に密に配筋され実施工においてコンクリートの充填不足が懸念される。また締固めによる材料分離が発生しないようコンシステンシーが大きい配合が必要である。以上の検討結果より、品質と施工性を考慮し配合④の27-15-20N膨張材25kg入を決定配合としました。

決定配合

27-15-20N (W/B ≦ 54%) C=297kg(297kg+25kg) 太平洋セメント

膨張材20型(25kg/m³)使用 ハイパーエキスパンK 太平洋セメント

AE減水剤(遅延型1種)フローリックSL20R

練混水：地下水



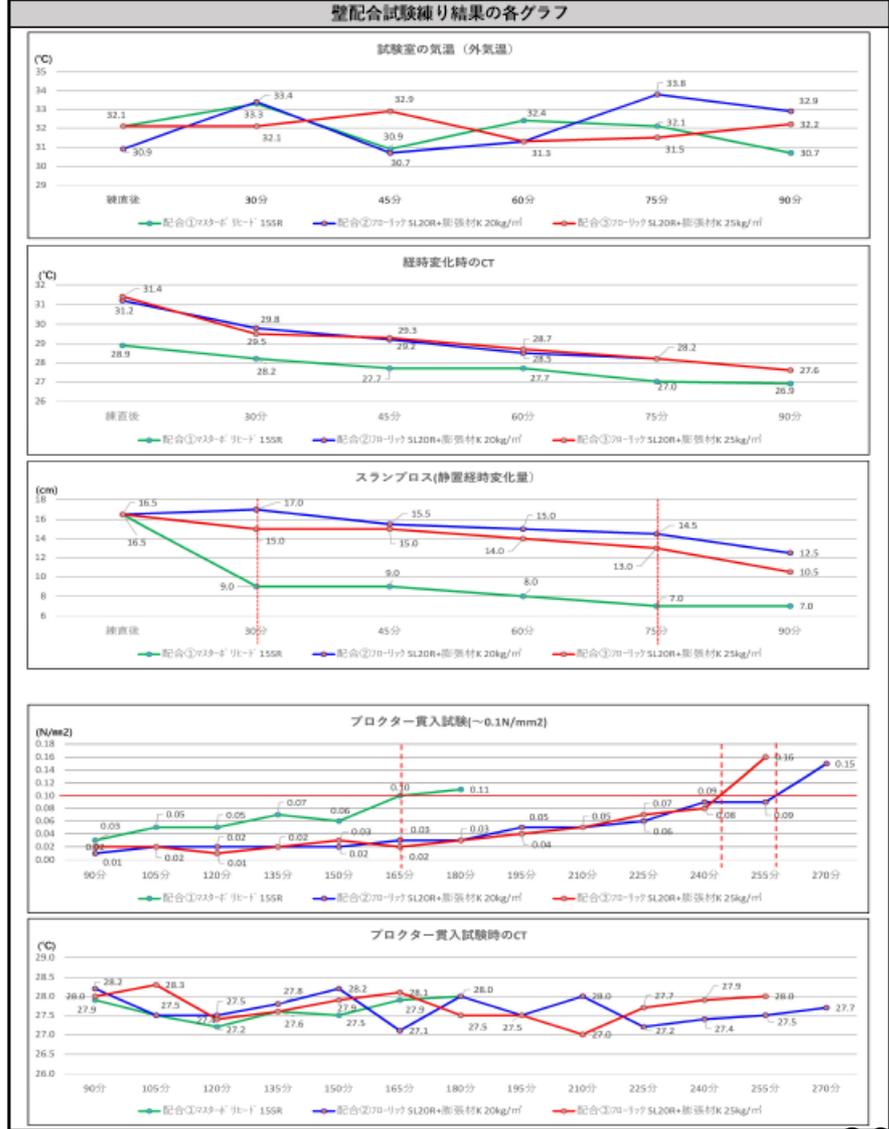
3-5. 決定した配合・対策

施工条件に近い条件下で打ち重ねに有効となるのか？ 確認の試験練り結果

試験練り実施日 2024年 2月19日 試し練り時の試験室の平均気温32.01℃ 平均湿度55%

壁配合試験練りmemo										
試験練りNo.	配合1			配合2			配合3			
配合計画No.	No.15			No.22			No.17			
配合	27-15-20N			27-15-20N			27-15-20N			
混和剤	高機能型 AE減水剤遅延型			スラップ 保持型 AE減水剤遅延型			スラップ 保持型 AE減水剤遅延型			
	(Fゾリス マスタードレト15SR) 1.0%			(Fゾリック SL20R) 0.85%			(Fゾリック SL20R) 0.85%			
添付材	膨張材ハイノックスK 20kg/m ³			膨張材ハイノックスK 20型 20kg/m ³			膨張材ハイノックスK 20型 25kg/m ³			
W/B	54.0%			54.0%			54.0%			
S/a	Ad1:0.161%			Ad1:0.137%			Ad1:0.137%			
S/a	Ad2:1.000%			Ad2:0.850%			Ad2:0.850%			
条件	湿度	53.0%			55.0%			57.0%		
	気温1	床+1.7m	31.45℃	試験室平均気温	床+1.7m	31.7℃	試験室平均気温	床+1.7m	31.3℃	試験室平均気温
	気温2	床+0.2m	27.6℃	28.9℃	床+0.2m	27.7℃	29.0℃	床+0.2m	28.1℃	28.8℃
	気温3	試験室の隅			試験室の隅			試験室の隅		
	温度	C	23.9℃	練りCT温度	C	24.1℃	練りCT温度	C	25.2℃	練りCT温度
	W	56.0℃			62.0℃			61.8℃		
	S1	23.7℃			22.0℃			22.3℃		
	S2	22.6℃			22.1℃			22.2℃		
	S3	22.1℃			22.2℃			22.2℃		
	G1	22.4℃			22.6℃			21.6℃		
G2	22.3℃			21.5℃			21.7℃			
空気量(%)	5.3%			4.9%			4.7%			
塩化物含有量	CT			CT			CT			
養生後	CT			CT			CT			
スランプロス(縦変化)	30分	16.5cm / 28.9℃	32.1℃	9:03	16.5cm / 31.2℃	30.9℃	9:43	16.5cm / 32.1℃	32.1℃	10:23
	45分	9.0cm / 28.2℃	31.1℃	9:33	17.0cm / 29.8℃	33.4℃	10:13	15.0cm / 29.5℃	32.1℃	10:53
	60分	9.0cm / 27.7℃	30.9℃	9:48	15.5cm / 29.2℃	30.7℃	10:28	15.0cm / 29.3℃	32.4℃	11:08
	75分	8.0cm / 27.7℃	32.4℃	10:03	15.0cm / 28.5℃	31.3℃	10:43	14.0cm / 28.7℃	31.1℃	11:23
	90分	7.0cm / 27.7℃	32.1℃	10:18	14.5cm / 28.2℃	33.8℃	10:58	13.0cm / 28.2℃	31.5℃	11:38
	105分	7.0cm / 26.9℃	30.7℃	10:33	12.5cm / 27.6℃	32.9℃	11:13	10.5cm / 27.6℃	32.2℃	11:53
	120分	0.03N/mm ² / 27.9℃	10:50	0.01N/mm ² / 28.2℃	11:20	0.02N/mm ² / 28.0℃	12:00	0.02N/mm ² / 28.0℃	12:50	
	135分	0.07N/mm ² / 27.5℃	11:15	0.02N/mm ² / 27.8℃	11:55	0.02N/mm ² / 27.8℃	12:35	0.02N/mm ² / 27.8℃	13:25	
	150分	0.06N/mm ² / 27.5℃	11:30	0.02N/mm ² / 28.2℃	12:10	0.02N/mm ² / 27.9℃	12:50	0.02N/mm ² / 27.9℃	13:40	
	165分	0.10N/mm ² / 27.9℃	11:45	0.03N/mm ² / 27.3℃	12:25	0.02N/mm ² / 28.1℃	13:05	0.02N/mm ² / 28.1℃	13:55	
180分	0.11N/mm ² / 28.0℃	12:00	0.03N/mm ² / 28.0℃	12:40	0.02N/mm ² / 27.8℃	13:20	0.04N/mm ² / 27.8℃	14:10		
195分	/	12:15	0.05N/mm ² / 27.5℃	12:55	0.04N/mm ² / 27.8℃	13:45	0.04N/mm ² / 27.8℃	14:35		
210分	/	12:30	0.05N/mm ² / 28.0℃	13:10	0.05N/mm ² / 27.8℃	14:00	0.05N/mm ² / 27.8℃	14:50		
225分	/	12:45	0.06N/mm ² / 27.2℃	13:25	0.07N/mm ² / 27.7℃	14:15	0.07N/mm ² / 27.7℃	15:05		
240分	/	13:00	0.09N/mm ² / 27.4℃	13:40	0.08N/mm ² / 27.9℃	14:30	0.08N/mm ² / 27.9℃	15:20		
255分	/	13:15	0.09N/mm ² / 27.6℃	13:55	0.16N/mm ² / 28.0℃	14:45	0.16N/mm ² / 28.0℃	15:35		
270分	/	13:30	0.15N/mm ² / 27.7℃	14:10	0.15N/mm ² / 27.7℃	15:00	0.15N/mm ² / 27.7℃	15:50		

配合①~④はリンクしていません



3-6.脱型後の状況

予定通り9月5日に打設を行いました。

9月5日は想定していたよりも気温が低く助かる方向となりました。
(解析打込みCT33.5℃ 実施工30.5℃ -3.0℃)

9月12日まで型枠付きでしっかり散水養生を行い、9月13日・14日で型枠の取り外しを行いました。

脱型直後より、コンクリート表面より水分の逸散が始まります。このため脱型直後より鉛直部に貼付タイプのシート養生を行っています。



貼付けタイプのため表面が見えず、現状ひび割れ調査はできません。脱型直後に確認したところひび割れは発生していませんでした。

9月14日の脱型2日目に横浜国立大学の細田教授が視察に来られ表層目視評価をしていただきました。結果を抜粋して左につけています。

ひび割れ対策に気を取られ実施工がおそろそかでひび割れが発生しているのではないかと疑いの目もあるのではないかと思います。きれいに打設できていると私は思っています。

配合検討で、スランプ保持タイプの混和剤の採用をしたことも、この度の施工条件下ではとても有効であり、これなしではポンプ台数と打設班を増やさなくては厳しい条件であったと感じています。ただし実際には2台設置するヤードは厳しい現場条件のため、混和剤(SL20R)の性能・有用性に感心しました。

2024. 9. 17
13:00

巻末資料 (記録様式④ (案))

表層目視評価結果(案)

構造物名: S77

測定箇所: _____

評価者氏名: 小島 匠 様

日時・時間: 13:00

測定時天候: 水と曇

評価回数: 回目(脱型後 日後) _____

測定箇所番号	①	②	③ 外壁
①沈みひび割れ	4	4	4
②表面気泡	3.5	4	3
③打置ね	4	4	4
④型枠継ぎ目のひび割れ	4	4	3.5
⑤砂すじ	3.5	4	3.5

備考

巻末資料 (記録様式④ (案))

表層目視評価結果(案)

構造物名: 小島匠B5

測定箇所: _____

評価者氏名: 小島 匠 様

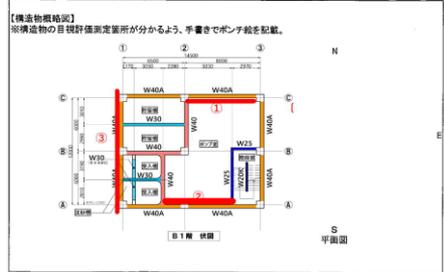
日時・時間: 2024. 9. 17

測定時天候: _____

評価回数: 回目(脱型後 日後) _____

測定箇所番号	①	②	③
①沈みひび割れ	4	4	4
②表面気泡	3.5	4	3
③打置ね	4	4	4
④型枠継ぎ目のひび割れ	4	4	3.5
⑤砂すじ	3.5	4	3.5

備考



視察・表層目視評価の状況

4.おわりに

発注者にもよると思いますが、発注者自身が求める目標のひびわれ指数や許容ひび割れ幅の基準を満たさず、設計して発注している発注機関もあるようです。こういった発注者が公共機関の場合、新設する構造物の耐久性や今後の維持メンテナンス費等についてはどう考えているのだろうと不思議に思います。

良いもの耐久性の少しでも高いものを作りたいと思う施工側の気持ちはあれど工期や工費の縛りもありますし、良かれと思ひひび割れ発生リスクが高い箇所の対策を提案しても、40センチ厚さはマスコン対象ではないので、ひび割れ対策の対象外となり、対策できないこともある。

この度の2つは下水道処理施設でしたが、下水道処理施設は下水を処理して、河川や海に放流するわけですから、設営する箇所は比較的近くに水があるか、水位が高い位置に存在することになると思います。受注者(施工者)がこういった、もともと割れるような設計のものを、限られた工期の中で時間をかけお金をかけ対策をして、発生した場合のひび割れは、0.2ミリ以上であれ0.2ミリ未満であれ、幅に関係なく漏水を伴うもの、すべて補修することが基準となっているわけです。水槽では水張試験、漏水確認、補修のサイクルを複数回まわすことになり、相当の期間と工費を要します。漏水するような水槽構造物を納品するわけにはいきませんから。不条理ですよ。

現在も同じ発注者からの構造物(地下水位のある下水道処理施設)に対して、ひび割れ根絶を目標に施工中です。昨年に続き、2年連続の発表となったため、現在進行中の対策を紹介しました。壁の打設は先月9月であったため現在のひび割れの発生や経過調査等の結果報告はできないので残念ですが、対策の検討と実施はしっかりと行っていききれいに打設できていましたので、水槽部に漏水や有害なひび割れが発生していないことを祈りつつシート養生の終了を待っています。

どこでもですが、発注者機関側でこのような水槽構造物の場合、設計段階で対策を講じることは、難しいことかとは思いますが、ひび割れ発生リスクが低い形状の考案や、膨張コンクリートを標準化とするような対策を講じて発注者自身が求める基準を満たして発注されれば、発注者としての大義も世に残す構造物もより良いものになるのではないかと考えています。

ご清聴ありがとうございました