

耐震補強工事におけるコンクリートひび割れ低減のための実験的研究

吉田健治* 中出 剛* 鬢谷亮太** 岩波 基***

鉄筋コンクリート造建物において、壁の増設や既設壁の増厚により耐震性を向上させる耐震補強は、多くの施工実績を有し、信頼性の高い工法である。しかしながら、後から打設するコンクリートは既設コンクリートによる外部拘束を強く受けるため、大規模な増設壁では、特にひび割れの発生が懸念される。

関西電力㈱舞鶴発電所の耐震補強は、施工実績の極めて少ない大規模な増設壁工事であり、当初よりひび割れ発生が懸念された。このため、現場試験や解析を実施し、効果的な対策工を選定、実施工に適用している。本報告では、これら検討結果を示すとともに、実施工におけるひび割れ低減効果を、施工結果から検証する。

キーワード：コンクリート、ひび割れ、乾燥ひずみ、耐震補強

1. はじめに

近年、耐震基準の見直しや構造物の老朽化、社会的な要求水準の高度化等により、既設構造物に対する耐震補強の需要が増えている。鉄筋コンクリート造建物の耐震補強として、壁の増設や既設壁の増厚により耐震性を向上させる鉄筋コンクリート増設壁耐震補強は、一般的な工法であり、施工実績も多い。

しかしながら、同工法は、後から打設するコンクリートが既設コンクリートによる外部拘束を強く受けるため、乾燥収縮、温度収縮によるひび割れが発生しやすい。こうした収縮性のひび割れは一般に微細で構造性能に致命的な欠陥をもたらす可能性は低いが、構造物の用途や環境によっては美観上問題となったり、耐久性の劣化を早めることが懸念される。

関西電力㈱舞鶴発電所では、石灰石受入サイロの増設に伴い、建築基準法の現行法令に適合させるため、基礎架台の耐震補強が必要となった。

基礎架台は、W38m×B17m×H10.5m(最大寸法)の鉄筋コンクリート造であり、耐震補強は、既設構造を有効に利用するため、柱間に新設壁を設ける増設と既設壁の増厚の両者が採用された。

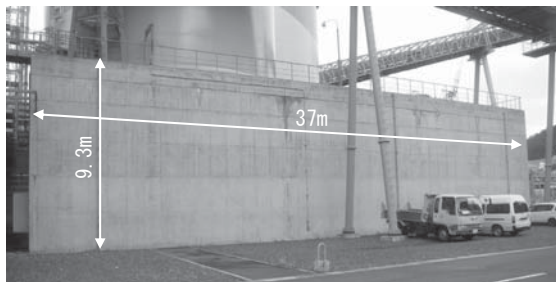


Photo. 1 石灰石受入サイロ架台全景

* 土木事業本部 土木設計部 土工・開削グループ

** 関西支店 関電舞鶴作業所

*** 長岡工業高等専門学校 環境都市工学科教授・工博

外壁を増厚する部分 (Photo.1) は、高さ 9.3m、長さ 37m にもおよぶ大規模なものであり、乾燥収縮、温度収縮に代表される収縮ひずみが、既設壁などによって強く拘束され、ひび割れが発生することが懸念された。

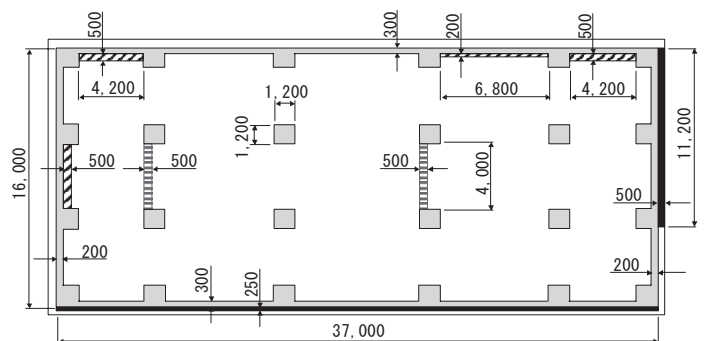
ひび割れ低減対策の検討、実施にあたっては、現場試験および室内試験により各種データを採取し、解析に適用することで、対策工の効果を把握し、実施工に反映している。

本報告では、これら一連の検討結果を示すとともに、実施工におけるひび割れ低減効果を、施工結果から検証する。

2. 工事概要

当該構造物の耐震補強箇所を、Fig.1 に平面図で示す。耐震補強箇所は、既設コンクリートによって拘束される部位により、図に示す 3 タイプに分類できる。

増設壁は、既設柱、梁に接着系アンカーを埋込み、壁筋と割裂防止筋を配置し、鉄筋コンクリートを増設するもので、設計および施工は、鉄筋コンクリート増設壁耐震補強設計・施工指針¹⁾ に準じた。



[凡例]
 ■ Type1: 既設壁の増厚 (既設壁に拘束される箇所) [h=9.3m]
 ▨ Type2: 既設壁の増厚 (既設壁と両端柱に拘束される箇所) [h=7.2m]
 ▨ Type3: 増設壁 (両端柱に拘束される箇所) [h=7.2m]
 □ 既設RC造建物

Fig.1 耐震補強箇所平面図

3. 検討概要

3.1 比較材料の選定

増設壁の壁厚は、20~50cm と薄いため、温度応力を要因とするひび割れの可能性は低く、乾燥収縮によるものが主要因になると考えられる。

また、発電所構内で生産されるコンクリート（フライアッシュⅡ種）の使用が前提であるため、比較検討する対策工は、Table 1 に示す通り 5 種類に限定された。

Table 1 比較検討する対策工

分類	選定した対策工	ひび割れを抑制する原理
混和材料	膨張材	収縮量低減によるひび割れ抑制
	減水剤(遅延型)	水和反応の遅延効果による収縮抑制
塗布材料	養生剤(被膜系)	被覆保護膜による乾燥防止
	養生剤(含浸系)	保水効果を高め初期の乾燥収縮低減
	保護材	補修を兼ねた表面保護

以下に、今回の比較試験で採用した材料の機能を示す。

膨張材

膨張材によりコンクリートに膨張ひずみが導入され、ひび割れ発生を抑制する。収縮量補填の各種膨張材における特殊性は小さいため、当社施工実績が多いエトリンナイト・石灰複合系膨張材を選定した。

減水剤(遅延型)

一般に遅延効果で水和熱によるひび割れやプラスチックひび割れの抑制効果が期待できる。今回は、ポリオール系複合体を主成分としたものを選定した。

養生剤(被膜系)

コンクリート面を緻密な防水性の被膜で覆うことで、コンクリート中の水分蒸発を防ぎ、コンクリート面の微細なひび割れ発生を抑制する。パラフィン系、シラン系、アクリル樹脂エマルジョンなどがあるが、今回は当社施工実績が多いパラフィン系養生剤を選定した。

養生剤(含浸系)

コンクリート中の自由水の移動を抑えることで急激な乾燥を防ぐタイプと水和反応を活性化し促進させる触媒的性質を有した薬剤(改質剤)とがある。改質剤は初期乾燥を抑える効果よりも、発生したひび割れを塞ぐ効果が主となるため、今回は保水効果の高い前者を選定した。

保護材

高付着力、高ひずみ度を有するセメント系無機質素材を、コンクリート表面に薄層(厚さ2mm)で吹付け、被膜施工する。本来は、コンクリート構造物の劣化防止、剥落防止やクラック補修等に適用されるが、今回は、後述するモデル試験において、打設直後のコンクリート面に施工し、対策工としての適用性について検証した。

3.2 検討フロー

実施工までの検討フローを、Fig.2 に示す。

事前予測解析では、一般的な入力値を用い、当該工事

のひび割れ発生傾向を把握した。

次に、解析精度を向上し対策工を選定するために、要素試験(室内試験)とモデル試験(現場試験)を実施した。要素試験は主に、使用するコンクリートの収縮ひずみ等、解析に用いる定数を把握するために、またモデル試験は、実際のひび割れ低減効果を確認するために実施した。これらの結果に基づき予測解析を実施し、対策工を選定、実施工を開始した。

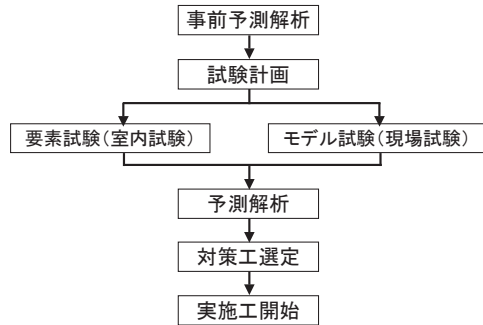


Fig.2 実施工までの検討フロー

4. 要素試験

4.1 試験概要

基本的なコンクリートの特性を把握するために実施した室内試験項目とコンクリートの配合を、Table 2, 3 に示す。なお、膨張材(添加量 25kg/m³)、減水剤(セメント 100kg 当たり 250cc)は後添加とし、十分に練り混ぜた。

Table 2 室内試験項目

目的	試験項目	試験材料
基本物性値の把握	圧縮強度試験 (JIS A 1108)	①標準(無添加) ②膨張材添加 ③減水剤添加
	割裂引張強度試験 (JIS A 1113)	
	曲げ強度試験 (JIS A 1106)	
収縮ひずみの測定	コンクリート長さ変化試験 (JIS A 1129-3)	
水分減少率の測定※	質量の経時変化測定	①標準(無添加) ②養生材(被膜系)塗布 ③養生材(含浸系)塗布

※材齢1日目に、供試体(一辺100mmの立方体を別途作成)全面に塗布材料を塗布し、経時的な質量変化を測定した。

Table 3 コンクリートの配合

コンクリートの種類	呼び強度	粗骨材の最大寸法(mm)	スランプ(cm)	W/C+F(%)	単位量(kg/m ³)					
					水 W	セメント C	混和材 ^{※1} F	細骨材 S	粗骨材 G	混和剤 ^{※2} A
普通	24	20	15	54	180	267	67	758	977	3.34 1.67

※1:フライアッシュⅡ種。 ※2:上段:AE減水剤(標準形Ⅰ種)、下段:AE剤
備考:フライアッシュ混入率20%

4.2 要素試験結果

4.2.1 基本物性値

基本物性値の試験結果を、Table 4 に示す。なお、乾燥養生は材齢 1 日目で脱型し、室温 20℃、湿度 50%を維持した室内で養生したものである。

この結果、圧縮強度と弾性係数は、膨張材、減水剤を添加したものが、標準(無添加)を上回った。

また、乾燥養生の 28 日圧縮強度は、標準養生の 10%~15%程度低い値となった。

Table 4 基本物性試験結果

		平均圧縮強度 (N/mm ²)		
養生	供試体	養生日数		
		3日	7日	28日
標準養生	標準	10.18	21.35	31.62
	膨張材	17.85	24.77	35.40
	減水剤	15.20	23.37	33.88
乾燥養生	標準	10.42	20.38	28.35
	膨張材	14.14	20.99	30.30
	減水剤	13.98	22.83	30.10

		平均割裂引張強度 (N/mm ²)		
養生	供試体	養生日数		
		3日	7日	28日
標準養生	標準	1.52	1.49	2.08
	膨張材	1.81	1.89	1.94
	減水剤	1.85	2.01	1.83

		平均弾性係数 (N/mm ²)		
養生	供試体	養生日数		
		3日	7日	28日
標準養生	標準	17,648	21,728	29,475
	膨張材	22,643	-	31,798
	減水剤	19,440	26,113	34,181

4.2.2 収縮量

コンクリート長さ試験結果から求めた収縮ひずみ量を Fig. 3 に示す。なお、収縮方向のひずみを正としている。

材齢 2 日までの収縮ひずみは、減水剤添加のものが最も小さな値であったが、材齢 3 日以降は膨張材添加のものが最も小さくなり、いずれも、標準（無添加）より小さな値となった。

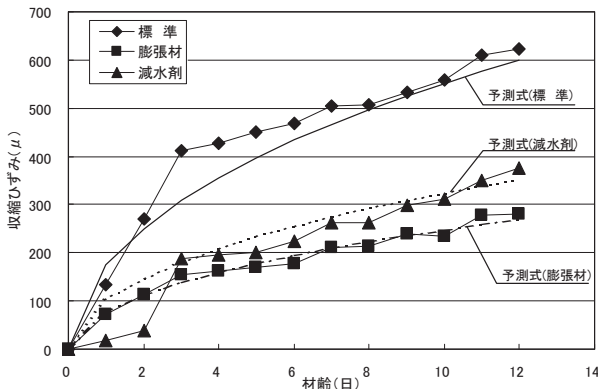


Fig. 3 乾燥収縮ひずみの経時変化 (標準養生)

コンクリート標準示方書²⁾より、収縮ひずみの予測式は、式(1)で示される。

$$\varepsilon'_{cs}(t, t_0) = \left[1 - \exp\left\{-0.108(t, t_0)^{0.56}\right\} \right] \cdot \varepsilon'_{sh} \quad \text{式(1)}$$

ε'_{sh} : 収縮ひずみの最終値 ($\times 10^{-5}$)
 $\varepsilon'_{cs}(t, t_0)$: 材齢 t_0 から t までの収縮ひずみ ($\times 10^{-5}$)

この式より、最終収縮ひずみ ε'_{sh} のみを変化させて試験結果と同定させたものを Fig. 3 に同時に示す。また、得られた最終収縮ひずみを Table 5 に示す。

コンクリート標準示方書では、最終収縮ひずみとして 1200 μ 程

Table 5 最終収縮ひずみ

	$\varepsilon'_{sh} (\mu)$
標準	1700
膨張材	765
減水剤	1000

度を想定しているが、対策を実施しない標準の場合では、これ以上の収縮ひずみが発生することがわかる。

4.2.3 水分減少率

塗布材料の違いによるコンクリートの水分減少特性の把握を試みた。

質量減少率の経時変化を Fig. 4 に示す。被膜系および含浸系の質量減少は、標準のものより小さくなっており、乾燥収縮の抑制に寄与すると考えられる。

なお、保護材は、コンクリート面にセメントを主成分とした材料を薄層に吹付ける工法であり、材料自体の水分減少が加算されるため、本試験での比較評価が困難であることから除外した。

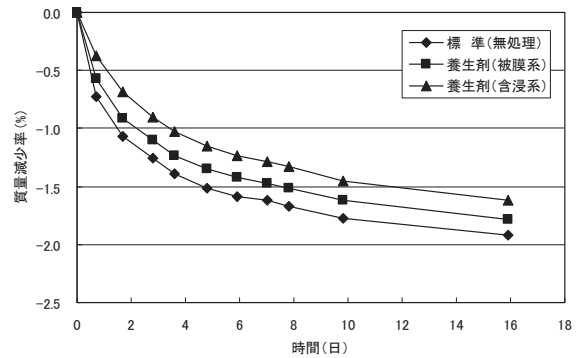


Fig. 4 質量減少率の経時変化

5. モデル試験

5.1 混和材料確認試験

混和材料の実際のひび割れ低減効果を比較検討するために、現地にて試験体による試験を行った。Fig. 5 および Photo. 2 に試験体の概要を示す。またコンクリートの配合は要素試験 (Table 3) と同様である。

試験体の基礎部は、既設躯体を模擬したものであり、その直上に、各々の混和材料を添加した試験体を作成し、ひび割れの発生状況を観察した。

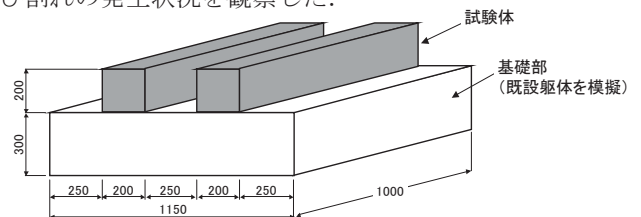


Fig. 5 混和材料確認試験体

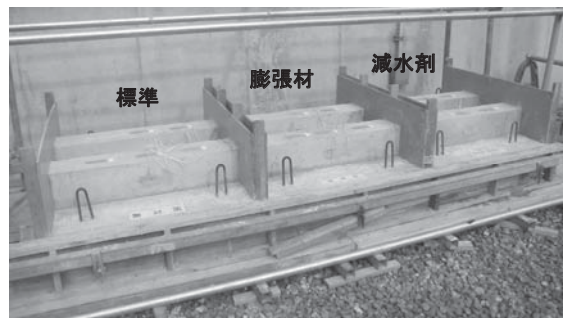


Photo. 2 混和材料確認試験状況

試験開始から、約 2 ヶ月後の各試験体上面の代表的なひび割れ状況を、Fig. 6 に示す。

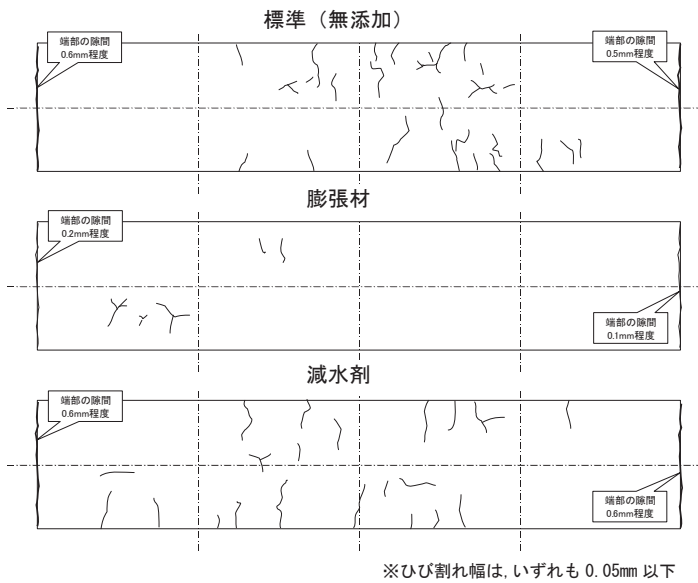


Fig. 6 ひび割れ発生状況

標準（無添加）と減水剤の試験体には、中央部を中心に 0.05mm 以下のヘアークラックが約 5cm 間隔で発生した。これに対し、膨張材の試験体には、規則的なひび割れの発生が確認できなかった。

試験に先立ち試験体をモデルとしたひび割れ予測解析を実施した。解析に用いたコンクリート強度や収縮量の特性は、次章で詳細を示す。この結果、ひび割れ観測時点と同材齢の最小ひび割れ指数を Table 6 に示す。

この予測解析において、膨張材の場合は最もひび割れ指数が大きく 1.0 を上回っており、試験体のひび割れ発生状況と良好な一致をみせている。

Table 6 解析における最小ひび割れ指数

	表面中央	表面端部
標準	0.44	0.48
膨張材	1.10	1.20
減水剤	0.81	0.89

5.2 塗布材料確認試験

塗布材料の実際のひび割れ低減効果を比較検討するために、現地にて試験体による試験を行った。Fig. 7 に試験体の概要を、Photo. 3 に試験終了時の状況を示す。

試験は、材齢 1 日目に試験体表面に各塗布材料を塗布し、約 2 ヶ月間、表面のひび割れ発生状況を観察した。

コンクリート表面中央部においては、いずれの試験体においてもひび割れは発生していない。一方、隅角部では、打設後 1 週間経過した時点で、標準（無処理）の試験体にわずかではあるが、ひび割れの発生が確認できた。これに対し、対策を行った試験体には、隅角部においてもひび割れは認められず、塗布材料によるひび割れ低減効果が確認できたと考えられる。

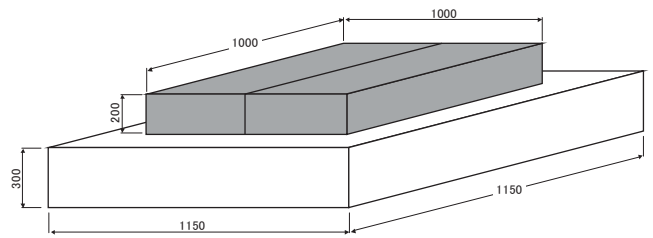


Fig. 7 塗布材料確認試験体

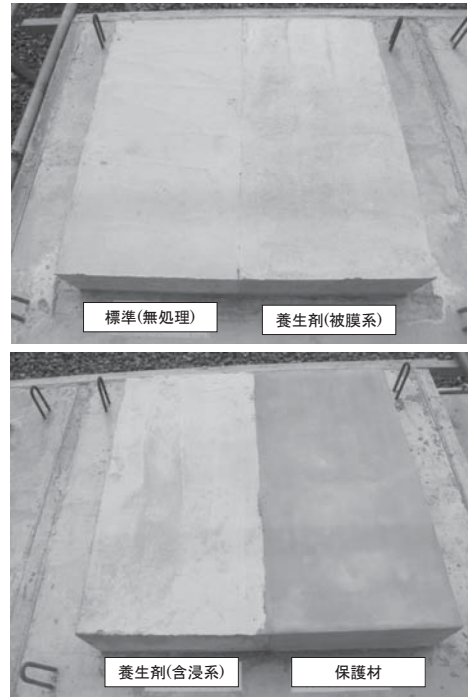


Photo. 3 塗布材料確認試験状況(試験終了時)

また養生剤は、いずれも塗布後 1 ヶ月程度は、材料色が色むらとなって残るが、長期的には無処理のものと同色に戻ることを確認した。これに対し保護材は、材料色が長期的に残る結果となった。

6. ひび割れ予測解析

6.1 コンクリートの力学特性

要素試験結果より、予測解析に用いる定数を以下のとおり定めた。

6.1.1 圧縮強度

コンクリート標準示方書²⁾より、圧縮強度の材齢に伴う変化は、式(2)の通り推定される。

$$f_c(t) = \frac{t}{a + bt} df_{ck} \quad \text{..... 式(2)}$$

$f_c(t)$: 材齢 t の圧縮強度 (N/mm^2)

t : 材齢 (日)

f_{ck} : 圧縮強度の特性値 (N/mm^2)

4 章で示した圧縮強度試験結果より、予測解析に用いる各定数を定めた結果を、Table 7, Fig. 8 に示す。なお、予測解析では、標準養生の試験結果を用いた。

Table 7 圧縮強度定数(標準養生)

	a	b	d	f_{ck} (N/mm^2)
標準	5.40	0.960	1.15	31.8
膨張材	3.84	0.973	1.05	37.0
減水剤	5.00	0.970	1.15	34.0

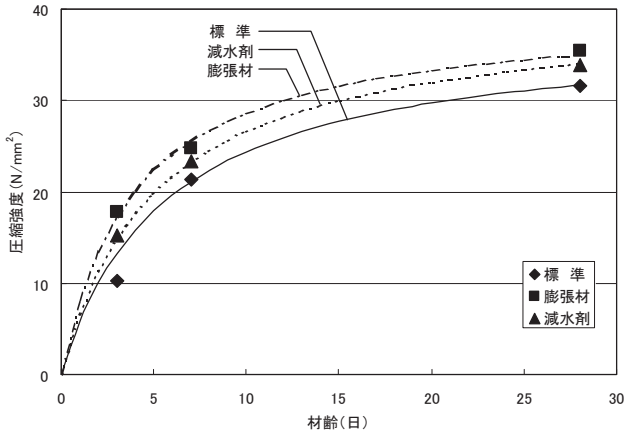


Fig. 8 圧縮強度の経時変化(標準養生)

6.1.2 引張強度

引張強度は、材齢 t における圧縮強度より、式(3)の通り推定する。

$$f_t(t) = cf_{ck}^\gamma \quad \text{式(3)}$$

$f_t(t)$: 材齢 t の圧縮強度(N/mm^2)

割裂引張強度試験結果より、予測解析に用いる各定数を定めた結果を、Table 8, Fig.9 に示す。なお、予測解析では、標準養生の試験結果を用いた。

Table 8 引張強度定数(標準養生)

	c	γ
標準	0.37	0.50
膨張材	0.40	0.47
減水剤	0.53	0.40

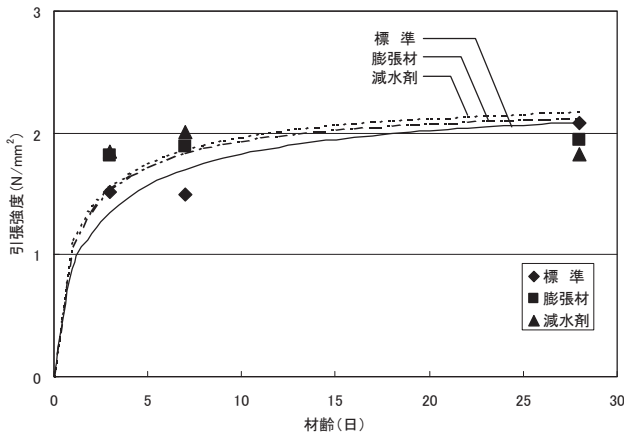


Fig. 9 引張強度の経時変化(標準養生)

6.1.3 弾性係数

弾性係数は、材齢 t における圧縮強度より、式(4)の通り推定する。

$$E_c(t) = gf_{ck}^\alpha \quad \text{式(4)}$$

$E_c(t)$: 材齢 t の弾性係数(N/mm^2)

圧縮試験結果より、予測解析に用いる各定数を定めた結果を、Table 9, Fig.10 に示す。なお、予測解析では、標準水中養生の試験結果を用いた。

Table 9 弾性係数定数(標準養生)

	g	α
標準	3400	0.62
膨張材	4900	0.53
減水剤	3300	0.66

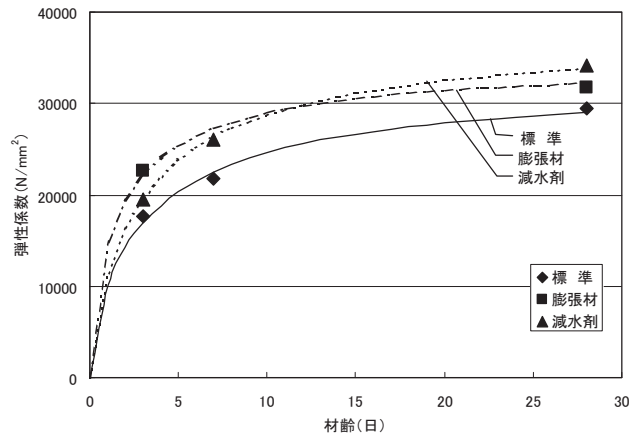


Fig. 10 弾性係数の経時変化(標準養生)

6.1.4 収縮ひずみ

収縮ひずみ量は、Table 10 に示す環境条件に基づき、4章で示した実験値を補正した。

Table 10 補正に用いた環境条件

	Type-1 (屋外)	Type-2 (屋内)	Type-3 (屋内)
相対湿度 RH (%)	65	50	50
単位水量 W (kg/m^3)	180	180	180
体積面積比 V/S (mm)	250	500	250

6.2 解析条件

6.2.1 使用セメントおよび配合

使用するコンクリートの配合は、要素試験(Table 3)と同様である。

6.2.2 コンクリートの物性値

解析に使用する物性値を Table 11 に示す。

Table 11 コンクリートの物性値

	密度 t/m^3	比熱 $kJ/kg^\circ C$	熱伝導率 $W/m^\circ C$	備考
コンクリート	2.3	1.16	2.7	密度、熱伝導率は示方書標準値、比熱は標準値(1.05~1.26)を考慮して設定

6.2.3 外気温

解析に用いる外気温は、気象庁舞鶴観測所における観測データより月平均気温を用いた。

6.2.4 コンクリート打設・養生条件

コンクリート打設日（6～8月）は、実施工程に基づき設定した。養生条件を Table 12 に示す

Table 12 養生条件

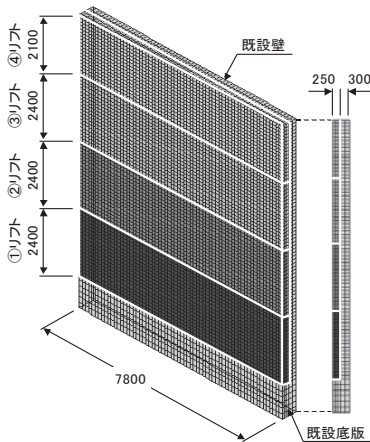
コンクリート打ち継ぎ面	散水4日
型枠取り外し時期	4日後脱型
目地位置	断熱境界

6.2.5 構造モデル

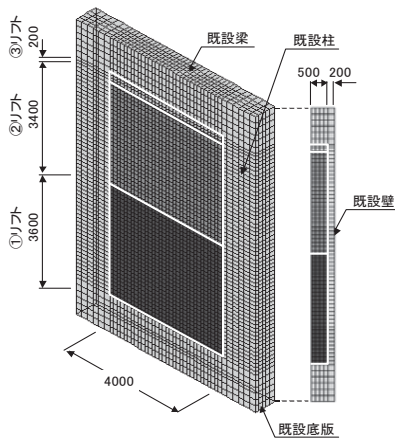
解析は、Fig. 1 に示すように、既設躯体に拘束される部位の違いにより 3 タイプをモデル化する。

解析で用いるモデルを Fig. 11 に示す。モデルは、実施工のリフト割に合わせてモデル化している。なお、Type-1

Type-1



Type-2



Type-3

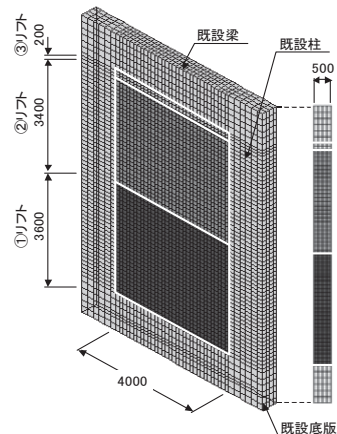


Fig. 11 解析に用いる構造モデル

の増設壁には誘発目地を設置するため、この間隔をモデル幅としている。

6.3 予測解析結果

6.3.1 混和材料の効果

混和材料の効果を確認するために、Type-1 において予測解析を行った。混和材料毎の各リフトの最小ひび割れ指数を、Table 13 に示す。

予測解析結果から、減水剤による最小ひび割れ指数の改善は僅かであったが、膨張材では最小ひび割れ指数が大きく改善され、ひび割れ低減効果が確認できる。しかし、膨張材の場合でも 1 リフトでは、最小ひび割れ指数が 0.44 と小さく、ひび割れ発生が強く懸念される結果となった。

Table 13 最小ひび割れ指数 (Type-1)

	標準	膨張材	減水剤
1リフト	0.24	0.44	0.26
2リフト	0.39	0.67	0.41
3リフト	0.57	0.95	0.60
4リフト	0.58	0.91	0.61

6.3.2 増設壁の部位による効果

増設壁の部位による効果を確認するために、標準（無添加）と膨張材を添加した場合の予測解析を行った。Type-1～Type-3 の最小ひび割れ指数を Table 14 に示す。

Table 14 最小ひび割れ指数

	Type-1		Type-2		Type-3	
	標準	膨張材	標準	膨張材	標準	膨張材
1リフト	0.24	0.44	0.18	0.69	0.19	0.67
2リフト	0.39	0.67	0.47	1.88	0.23	0.83
3リフト	0.57	0.95	0.14	0.50	0.12	0.42
4リフト	0.58	0.91				

膨張材を添加した場合の最小ひび割れ指数は、いずれのモデルにおいても標準を上回るが、多くのリフトにおいて 1.0 を下回る結果となった。最小ひび割れ指数のカウンター図を、9 章 Fig. 14 に示す。

Type-1 では、既設壁の拘束だけでなく、基礎部の拘束を強く受けることから、増設壁下端部（1 リフト）のひび割れ指数が小さく、上部ほどひび割れ指数は高くなっている。

Type-2 では、既設壁の拘束だけでなく、上下の拘束を強く受けることから、上下端部にひび割れ指数の小さい領域が集中している。

Type-3 では、両面で乾燥の影響を受けるため、Type-2 よりも若干厳しい結果となっている。左右の柱、上下の梁に拘束された領域のひび割れ指数が小さくなっている。

7. 対策工の選定

対策工は、予測解析結果より、混和材料の中で最も改善効果が確認できた膨張材を添加することとした。

しかし、予測解析からも示されたように、膨張材添加のみでは十分なひび割れ低減対策とならないことから、さらに養生期間を、Table 15 の通り延長した。

これは、コンクリート表面を湿潤状態に保つことで急激な乾燥を防ぐ効果を期待したものであるが、解析による定量的な評価が困難であったため、実施工で対応可能な最大限の期間を設定した。

養生効果の定量的把握に関しては、施工時に採取したコンクリートで追加室内試験を実施しており、次章以降で詳細を示す。

なお、屋内工事は長期間の散水養生が困難であったため、脱型後は養生剤を塗布することとした。使用した養生剤は、室内試験で最も質量減少率が小さかった含浸系を選定した (Fig. 4 参照)。

Table 15 実施工における養生期間

	当初計画 (予測解析条件)	実 施 工
型枠存置期間	3日	1週間以上
散水養生期間	打設後4日間	屋外 打設後3週間以上
		屋内 脱型まで散水養生 脱型後、養生剤塗布

8. 施工結果

8.1 施工概要

実施工では、直射日光を避けるために施工箇所全面をシートで覆った。散水養生は、自動散水装置を用い打設翌日より型枠面に散水を開始し、型枠解体後も 2 週間以

上、散水を継続した。このため、最下部となる 1 リフトは、最上部養生完了までの約 2 ヶ月間、湿潤状態を保つことができた。施工概要を以下に示す。

施工期間：平成 20 年 5 月～9 月

(コンクリート打設は 6 月～8 月)

主要数量：コンクリート 210 m³、鉄筋 21t、型枠 715 m²

コンクリート配合：Table 3 に示す。

(膨張材 25kg/m³ を後添加)

リフト割：Fig. 11 に示す。

8.2 ひび割れ発生状況

施工完了時から約 1 年間、施工個所のひび割れ観察を行った。代表部のひび割れ発生状況を Fig. 12 に示す。

Type-1 外壁

コンクリート打設から 1 ヶ月後、最上端部に 2 個所のひび割れが発生したが、このひび割れは、その後進展していない。また、同じく 10 ヶ月後には、1 リフト中央部と 2 リフトとの打継目付近に、鉛直方向のヘアークラックが発生した。

乾燥収縮が主原因と考えられるが、温度応力の影響 (リフト間の拘束作用) により、鉛直方向のひび割れが発生したと推定される。

Type-2 内壁

コンクリート打設から 1 ヶ月後、2 リフトの上隅角部にひび割れが発生したが、その後進展していない。また、開口部周辺には、ひび割れは確認されていない。

既設柱および最終リフト部の拘束によって、上端と側

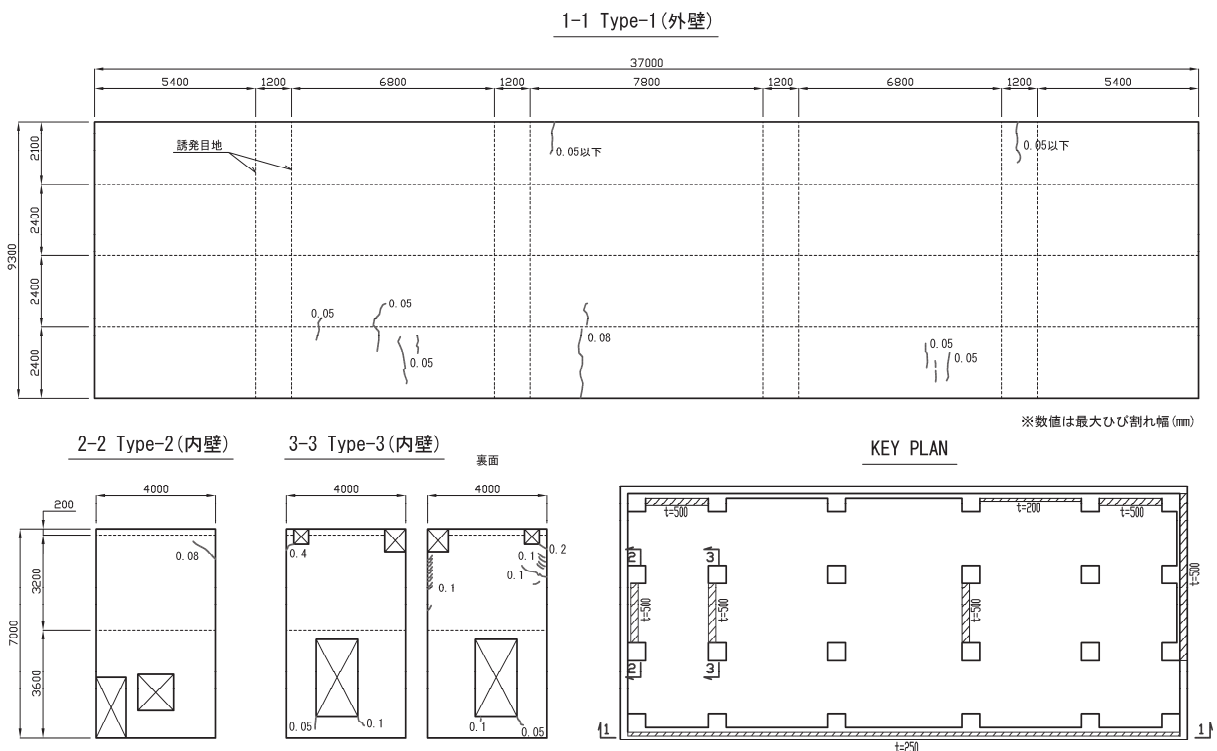


Fig. 12 実際のひび割れ発生状況 (打設後約 1 年後)

部を結ぶひび割れが発生したと推定される。

Type-3 内壁

コンクリート打設から1ヶ月後、下開口部の隅角部に2ヶ所のひび割れが発生した。また、2リフト両側の既設柱と接する部分には、貫通はしていないひび割れが高頻度で発生した。

開口部付近のひび割れは、乾燥収縮による典型的な発生形態である。水平方向のひび割れは、頻度、発生形態から、既設柱による拘束作用が顕著に影響したと推定される。

8.3 室内試験結果

養生効果を評価するために、施工時に採取したコンクリートで、追加室内試験を実施した結果を以下に示す。

8.3.1 圧縮強度

圧縮強度試験結果の平均値は、7日強度で20.8N/mm²、28日強度で29.7N/mm²あり、設計基準強度24.0N/mm²を十分に満足していることを確認した。

8.3.2 収縮量

コンクリート打設後の養生効果を確認するために、水中養生期間を変えた長さ変化試験を実施した。この結果を、式(1)で推定した場合と比較してFig. 13に示す。

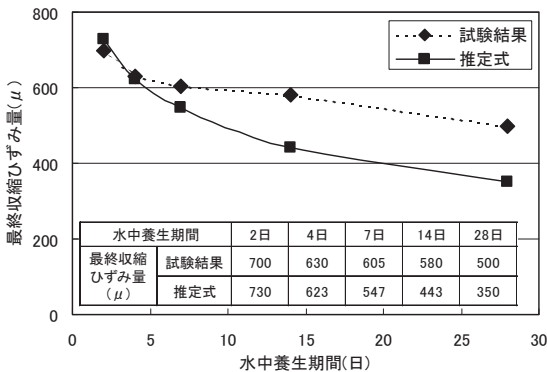


Fig. 13 最終収縮ひずみ量の比較

要素試験(Table 5)では、膨張材の最終乾燥ひずみが765μに対して、今回の試験では養生期間2日の最終ひずみが700μとなり、長さ試験による再現性が確認できる。

また、養生期間が長いほど、乾燥ひずみを抑制できることが確認できるが、推定式はやや過大に評価していることが分かる。

9. 施工再現解析

9.1 解析条件

実施工における条件を反映させ、施工状況の再現を試みた。事前予測解析より変更した解析条件は、施工地点の気温、湿度の計測値を採用した点と、最終収縮ひずみ

量として、打設後3週間の散水養生(屋外:Type-1)を境界条件とした点である。湿度の平均計測値は、屋外77%、屋内70%となり、当初設定の屋外65%、屋内50%を大きく上回った。補正後の最終収縮ひずみを、Table 16に示す。

なお、屋内施工(Type-2, 3)の養生剤塗布の効果は解析では反映していない。

Table 16 補正後の最終収縮ひずみ量

	最終収縮ひずみ量(μ)		
	Type-1	Type-2	Type-3
1リフト	47	94	163
2リフト	47	69	138
3リフト	47	69	138
4リフト	72		

9.2 解析結果

各リフトの最小ひび割れ指数をTable 17に、最小ひび割れ指数のコンター図をFig. 14に示す。

Table 17 最小ひび割れ指数

	Type-1		Type-2		Type-3	
	予測解析	再現解析	予測解析	再現解析	予測解析	再現解析
1リフト	0.44	6.0	0.69	1.3	0.67	0.9
2リフト	0.67	5.8	1.88	1.5	0.83	1.2
3リフト	0.95	5.4	0.50	1.5	0.42	1.4
4リフト	0.91	1.5				

実際のひび割れ発生状況(Fig. 12)と比較した考察を以下に示す。

Type-1 外壁

解析結果で、ひび割れ指数が相対的に小さい4リフトに、ヘアークラックが発生している。

1リフトと2リフトに発生したひび割れは解析では再現できていないが、乾燥収縮に加え、温度応力や外気温の急激な変化等の外的な要因が重なって発生したと考えられる。

Type-2 内壁

上部リフト隅角部付近には斜め方向のひび割れを生じている。解析上も上部リフト隅角部付近は相対的にひび割れの可能性が高くなる場所であり、予測範囲内のひび割れと考えられる。

Type-3 内壁

1リフトでひび割れ指数が1.0を下回っているが、実際に開口部付近にひび割れが発生している。

既設柱との接合部における水平～斜め方向のひび割れは、発生形態から乾燥収縮によるものと考えられる。

9.3 考察

対策工として膨張材添加および養生期間の延長を行った。この結果を、ひび割れ指数で比較しFig. 15に示す。

図より、いずれのタイプも膨張材添加に比べ養生期間延長に、より大きな改善効果が認められる。

さらに、屋外である Type-1 のひび割れ指数が特に大きく改善されていることから、施工地点の湿度が大きな要因であると考えられる。

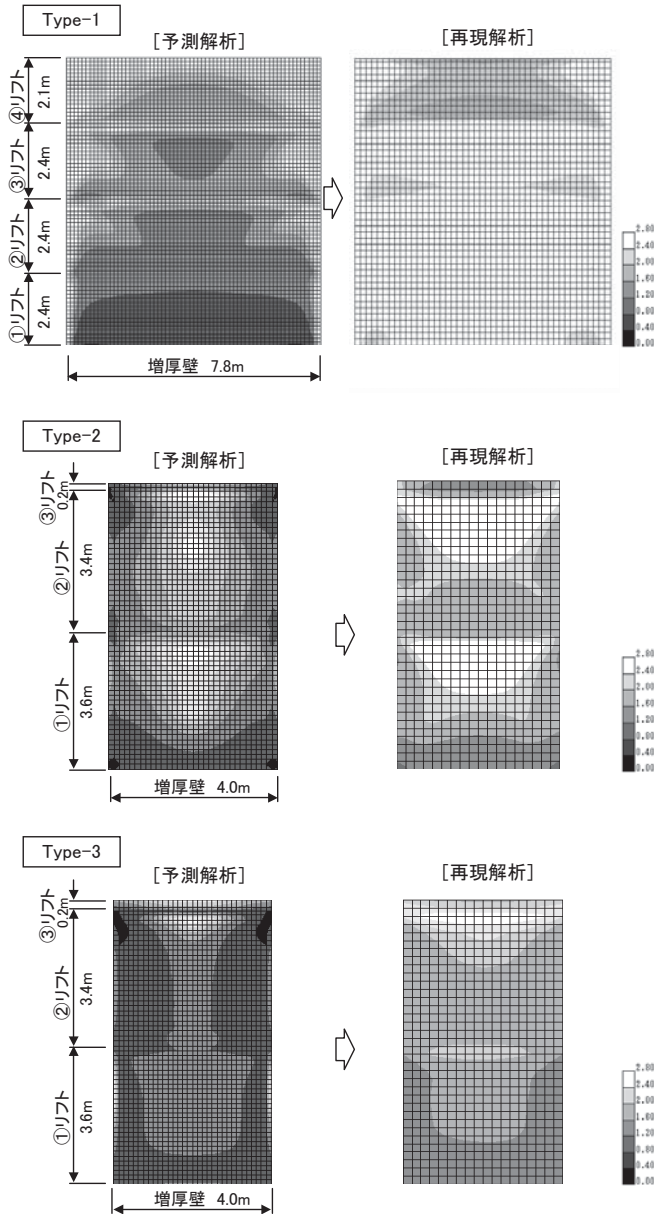


Fig. 14 最小ひび割れ指数コンター図

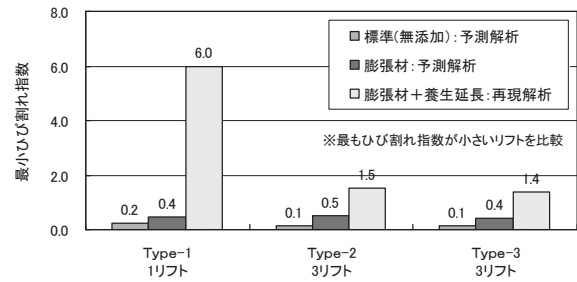


Fig. 15 最小ひび割れ指数の比較

10. まとめ

大規模な増設壁施工を対象として、コンクリートの乾燥収縮によるひび割れ低減を目的に、対策工を選定し、実施工結果から、この成果を検証した。

室内試験では、コンクリートや混和材料の特性値を把握し、現場試験においてひび割れ低減効果を確認した。

施工後約 1 年間のひび割れ観察より、完全にひび割れを防止するには至らなかったが、工学的に許容できる範囲であり、良好な施工結果を得た。

対策工として、膨張材の添加および養生期間の延長を実施したが、養生期間の延長に特に大きな効果が確認できた。さらに、施工期間中、高湿度の天候が続いたことも、良好な結果の要因であると考えられた。

このことは、コンクリート材料の改善に留まらず、打設後の施工管理の重要性を示すものであり、同種工事では、施工計画段階から湿潤状態の確保に留意することで、ひび割れ低減に対し、より効果が期待できると考える。

謝辞

工事全般にわたり適切なお指導、有益なお助言をいただいた関西電力株式会社舞鶴火力建設所の関係各位、各種室内試験の実施に快くご協力いただいた長岡工業高等専門学校学生の皆様に、深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 日本建築総合試験所：鉄筋コンクリート増設壁耐震補強設計・施工指針，平成 13 年 9 月
- 2) 土木学会：コンクリート標準示方書 [施工編]，2007 年制定

Experimental study for concrete crack reduction in the antiseismic reinforcement

Kenji YOSHIDA, Tsuyoshi NAKADE, Ryota KATSURAYA and Motoi IWANAMI

Abstract

In RC structure, the antiseismic reinforcement by building additional wall and/or increasing thickness of the existing wall has much execution results, and it is a reliable method of construction. However, as for the concrete casting later, crack is easy to occur particularly in the large-scale enlargement wall in order to receive external restriction strongly by the existing concrete.

Antiseismic reinforcement of Maizuru Power Station (Kansai Electric Power Company) was a large-scale enlargement wall construction and such execution results were rare, therefore crack outbreak was worried at first. On this account we carried out field examinations and analysis and applied effective measures to the construction work.

By this report, we state these examination results and inspect a crack reduction effect of the applied method.

Key Words : Concrete, Crack, Drying shrinkage strain, Antiseismic reinforcement