

初期ひび割れ抑制対策（事例）

1. フライアッシュコンクリート（北陸地区） 【資料1】参照
2. 低熱ポルトランドセメント＋低発熱型膨張剤（上下水道調整池）
3. 低熱高炉セメント B 種（重力式擁壁）
4. 高炉セメント C 種（バースクレーン基礎） 【資料2】参照

1. フライアッシュコンクリート（北陸地区）

【資料1】参照

2. 低熱ポルトランドセメント＋低発熱型膨張剤（上下水道調整池）

H市発注の上水道水調整池建設工事におけるひび割れ抑制対策について

2014年3月～2014年11月に施工されたH市発注のI地区上水道水調整池建設工事では、生コンクリートの試し練り時点でひび割れ抑制のための生コン配合について、発注者H市のK氏と施工者H建設T氏より相談を受けた。

水槽の躯体なので誘発目地は設けない。配合と施工で極力ひび割れを抑制したいというのK氏からの依頼であった。

生コン工場と膨張材メーカーが添付の資料を提出し、配合変更の提案を行った。

検討の結果、AE減水剤遅延形と膨張材の使用が決まった。

（配合変更に係る費用は施工者負担と思われた）

夏期には水槽の躯体に外部拘束に起因すると思われるひび割れが発生した。

ひび割れは補修を行った。

配合変更を行った躯体の施工ボリュームは1300m³程度であった。

配合は 27-10-20BB 膨張材 20kg

将来H市ではN地区に規模の大きな上水道水調整池建設工事を計画しており、その工事で実施採用できる最も有効な配合の提案を要求された。

そこで、低熱ポルトセメントと膨張材水和熱抑制型の提案を行っていた。

2019年にH市N地区で上水道水調整池建設工事の入札情報公開があった。

仕様書には躯体の使用セメントが低熱ポルトランドセメント、混和材には膨張材低発熱型の使用が明記されており、入札予定者から生コン組合へ対応可否について相談が寄せられた。生コン配合の費用は当然算入済みと思われた。

生コン組合は対応可能と返答した。

受注された施工者I建設は特殊なセメント種や膨張材を使用する工事である認識がなかった。

試し練りを行う前に特殊配合が採用された経緯と特性を説明した。

この特殊配合の使用を主導したH市のK氏は既に転勤でほかの部署に移動されており直接お話しする機会はなかったが、文書をH市の担当課内に残されていた様子であった。

施工は2019年7月～2030年3月にかけて行われた。

躯体の施工ボリュームは3500m³程度であった。

配合は 27-12-20L 膨張材水和熱抑制タイプ 15kg

ひび割れは殆ど見られない仕上がりであった。

H市のK氏がひび割れ抑制に注力されたことが効果に繋がったと考えられる。

長大壁+マッシブなコンクリート構造物に対するひび割れ抑制対策について

ひび割れ低減のための手法	効 果		初期ひび割れ	乾燥収縮	自己収縮	温度ひび割れ (内部拘束)	温度ひび割れ (外部拘束)	備 考	取扱のし易さ
	ひび割れ低減のための手法	効 果							
高性能AE減水剤の使用	単位水重量の低減=単位セメント量の低減	単位水重量の低減=乾燥収縮・自己収縮の低減に効果	-	○	○	○	○	スランプ8cmの配合に使用する場合、単位水重量・セメント共に減少する為、ポンプ圧送性が悪くなる懸念がある。	可
	単位水重量の低減=単位セメント量の低減	単位セメント量の低減=水和熱の抑制に効果	-	○	○	○	○	ポンプ設備が必要となり、汎用的でない強度管理材料の置直し等が必要	不可
特殊（低熱セメント等）の使用	水和熱の抑制	水和熱抑制効果が大きく、温度ひび割れに効果的	-	△	△	○	○	過剰添加は異質部材によりコンクリート強度の低下を招く為、所定の添加量を厳守。	可
膨張材の使用	収縮補償用コンクリートの膨張率150 ⁻⁶ ～250 ⁻⁶ を確保、圧縮応力の導入によりひび割れを低減	水和熱抑制効果が大きく、温度ひび割れに効果的	-	○	○	-	○	適量の減水剤との組み合わせは不可、凝結が遅くなる傾向にあり、コナ押さえ等のタイミングに注意。	不可
膨張材（水和熱抑制型）の使用	上記特徴に加え、水和熱を抑制する効果が期待出来る	水和熱抑制効果が大きく、温度ひび割れに効果的	-	○	○	○	○	水和熱抑制型膨張材は膨張材のJIS規格に適合しないので、事前確認が必要	可
AE減水剤（高性能AE減水剤）の使用	初期の凝結を遅延させる効果が有り、水和熱抑制に期待	水和熱抑制効果が大きく、温度ひび割れに効果的	-	-	-	△	△	コンクリート温度により乾燥収縮に差異がある為、コナ押さえるタイミングに注意。	可
選型タイプを使用	初期の凝結を遅延させる効果が有り、水和熱抑制に期待	水和熱抑制効果が大きく、温度ひび割れに効果的	-	-	-	△	△	コンクリート温度により乾燥収縮に差異がある為、コナ押さえるタイミングに注意。	可
収縮低減剤の使用	コンクリートの収縮率を0～30%程度低減する。	水和熱抑制効果が大きく、温度ひび割れに効果的	△	○	○	-	-	温度ひび割れには効果が期待出来ない、プラント設備が必要となる。	不可
短繊維の使用	短繊維をコンクリートに混入、ひび割れ幅の抑制に効果	水和熱抑制効果が大きく、温度ひび割れに効果的	○	△	△	△	△	繊維混入によりスランプがロスを為、配合の調整が必要	不可
強度の管理材料の変更	管理材料齢を長くすることで、セメント量の低減が図れ、水和熱抑制に効果	水和熱抑制効果が大きく、温度ひび割れに効果的	-	△	△	△	△	工程に影響、ポンプ圧送性に影響が出る可能性あり	不可
型枠存置期間の延長	初期の急激な乾燥、コンクリート表層部分の温度低下を防ぐことで、ひび割れ抑制に効果、期間中、散水による水分補給がより効果的	水和熱抑制効果が大きく、温度ひび割れに効果的	△	○	○	○	△	※JIS表示につきましては、まるきり五日程市工機を対象にしています。	不可
打ち込みリフト高の低減	水和熱による温度上昇率が抑えられる効果を期待	水和熱抑制効果が大きく、温度ひび割れに効果的	-	-	-	○	△	工程が増え、施工費用も増大化する。	可
養生シートの使用	水分の逸散を抑制することで、乾燥収縮の抑制に効果	水和熱抑制効果が大きく、温度ひび割れに効果的	-	○	-	-	△	型枠脱模後、養生シート施工前に乾燥の影響をうけないよう注意が必要、完全密封で効果が出るため、細心の施工が必要	可
塗布型ひび割れ低減剤の使用	脱模塗布することで、コンクリート中の水の逸散を抑制し乾燥収縮を抑制	水和熱抑制効果が大きく、温度ひび割れに効果的	-	△	△	-	△	低級アルコール系の溶剤を含む、型枠脱模後、乾燥の影響をうけないよう注意	可
夜間打設の検討	水和熱の上昇を抑制	水和熱抑制効果が大きく、温度ひび割れに効果的	-	-	-	△	△	夜間安全対策、人役他コスト増大	可
ひび割れ制御鉄筋の設置	鉄筋による拘束増により、ひび割れを抑制	水和熱抑制効果が大きく、温度ひび割れに効果的	-	△	△	-	△	現場での変更は不可、鉄筋増によるコスト増大	可
ガラス繊維ネットの適用	ガラス繊維の拘束によりひび割れ幅を抑制	ひび割れが懸念される箇所に部分的な使用が可能	-	△	△	-	△	鉄筋のかぶりが薄いほど効果に期待出来る。鉄筋に設置する際、入念に取り付けの必要がある。生コン打設時、ネットが外れる懸念がある箇所には取り付け不可	可
ひび割れ誘発目地の設置	ひび割れ誘発目地は、ひび割れ対策として効果的であり、間隔を短く設計することでより効果が得る。	ひび割れ誘発目地は、ひび割れ対策として効果的であり、間隔を短く設計することでより効果が得る。	-	○	○	△	○	水密構造の場合、目地の処理方法に課題	可

最大値=乾燥収縮量、自己収縮量が大きく、ひび割れ発生 の積事大

マツダ工場東区画、外部拘束によるひび割れの発生積事大

ひび割れの重なりが懸念ある為、ひび割れの対策で根本的に解決するには難く、複合組み合わせることによる相乗効果に期待。

対策=単位水重量の低減、急激な乾燥防止、ひび割れ誘発目地の設置、散水養生等による適度な給水、湿和材(和)の適用等

対策=単位セメント量の低減、特殊セメントの使用、湿和材(和)の検討、ひび割れ誘発目地の設置、各種温度上昇抑制対策、等

3. 低熱高炉セメント B 種（重力式擁壁）

低熱高炉セメント B 種 試験施工記録

1. はじめに

高炉セメント B 種（以下、BB と称す）は普通ポルトランドセメントと比較して、水和反応の進行が緩やかであることから、長期強度や水密性などの性能が向上する。また、BB は強度発現性をポルトランドセメントと同等とするために、高炉セメントを構成する材料である高炉スラグ微粉末の粉末度を比較的高く設定している。そのため、夏季の施工時などにおいて、高炉スラグ微粉末の温度依存性に伴う水和活性効果により、発熱量がポルトランドセメントと同等以上になるケースが報告されている。この課題を解決する手法として、BB の特徴を維持させつつ、低発熱性を有した低熱高炉セメント B 種（以下、LBB と称す）がいくつかの構造物で適用されている。本検討では LBB の実構造物への適用にあたって、その施工性能、構造物の挙動、およびコンクリートの性状を確認した。

本施工は寒中期に当り、主な確認事項は、現場での仕上げ時期、構造物に生じるひずみと温度、凝結・ブリーディング、および強度発現性である。以下にその結果を述べる。

2. 試験の概要

2.1 試験条件

1) 対象構造物

本試験での対象構造物は、写真-1、図-1 に示す重力式擁壁である。



写真-1. 重力式擁壁

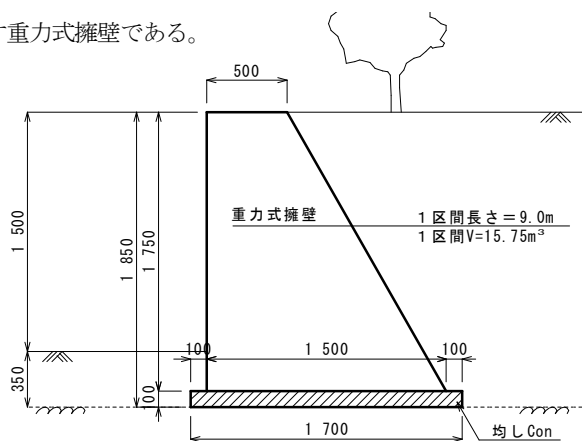


図-1. 重力式擁壁一般図

2) 配合

本試験では、LBB 及び、その比較対象として BB を使用した。コンクリート配合を表-1 に示す。

表-1. コンクリート配合

	W/C	s / a	C	W	S	G	AD
LBB	55.0	47.5	300	165	848	984	3.00
BB	55.0	47.5	300	165	850	986	3.00

※スランプ：10cm±2.5cm

※空気量：4.5±1.0%

3) 養生条件

施工は鋼製型枠を使用しており、かつ寒中期に当たるため、打設面の粗仕上げ後、型枠毎全面をシートで覆い、コンクリート温度の急激な低下と乾燥防止を図った。養生期間は土木学会コンクリート標準示方書に準じ 12 日間とした。

2.2 試験項目

1) 測定・確認項目

表-2. 測定・確認項目一覧

	測定項目	測定細目
施工性能 および コンクリートの 性状	仕上げ時期	仕上げ可能時期までの必要時間
	凝結時間	凝結の始発、終結
	ブリーディング	ブリーディング時間、ブリーディング率
	圧縮強度	3 d、7 d、28 d、56 d、91 d
	※供試体の養生条件は標準養生と現場封緘養生の 2 ケース	
構造物の挙動	ひび割れの有無	発生時期、位置、間隔、幅、長さ
	環境条件	外気温
	構造物の温度	温度分布、温度変化
	構造物のひずみ	応力ひずみ、自己収縮

2) 計測器の配置

計測器は、温度応力解析の結果を踏まえ、構造物内部での発生応力が最も大きい断面（構造物中央断面）に配置した。応力ひずみと自己収縮ひずみ算出のため、最大応力発生箇所に無応力計と、埋込ひずみ計を配置した。また、ひずみの分布を確認するため、同断面表面側に埋込ひずみ計を配置した。構造物の鉛直・水平方向の温度分布を確認するため、各ひずみ計に熱電対を配置するとともに、構造物上下方向にも熱電対単体を配置した。

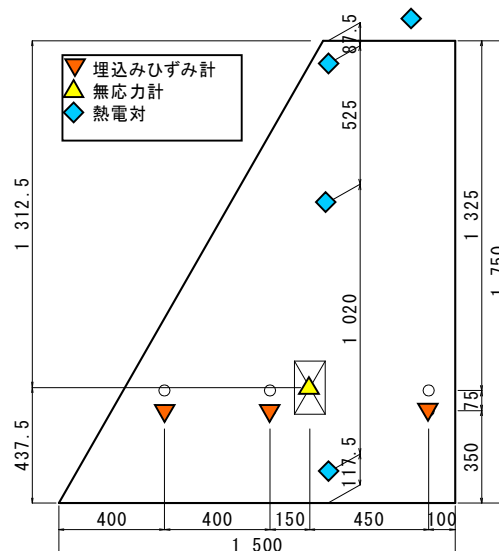


図-2. 計測器配置図

2.3 試験期間

本試験の工程は以下のとおりである。

月	12		1						2					3					
日	25	30	5	10	15	20	25	30	5	10	15	20	25	5	10	15	20	25	30
現場	(シート養生) 打設 脱枠																		
計測	コンクリートひずみ、鉄筋ひずみ、温度																		
検定	3d 7d		28d						56d					91d					
※青は圧縮強度・弾性係数のみ、赤は引張強度を含む																			

図-3. 試験工程表

3. 試験結果

3.1 コンクリートの性状

1) スランプ、空気量

本試験でのスランプ、空気量、および練上り温度を以下に示す。

表-3. スランプ、空気量、練上り温度

	アジテータ車台数	スランプ(cm)	空気量(%)	温度(℃)
LBB	1 台目	11.0	4.4	11.3
	2 台目	10.5	4.2	11.6
	3 台目	10.0	4.7	10.8
BB	1 台目	10.0	5.3	12.6
	2 台目	9.0	4.1	12.9
	3 台目	9.0	5.2	12.9

2) 凝結、ブリーディング

凝結、ブリーディング試験は、現場近傍屋外で実施した。なお、外気温は10℃前後で推移している。

①凝結

表-4、図-4に凝結試験の結果を示す。

LBBはBBと比べ、始発で3時間20分、終結で5時間10分遅れる結果であった。

表-4. 凝結試験結果

	始発	終結
LBB	13hr-20min	21hr-35min
BB	10hr-00min	16hr-25min

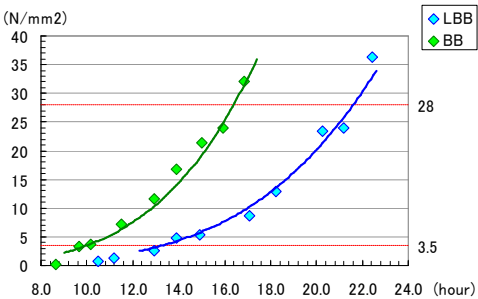


図-4. 凝結試験結果

②ブリーディング

図-5 にブリーディング試験の結果を示す。LBB は BB と比べ、ブリーディング率で約 2.0%多く、ブリーディング時間で 1.5 時間長くなる結果であった。

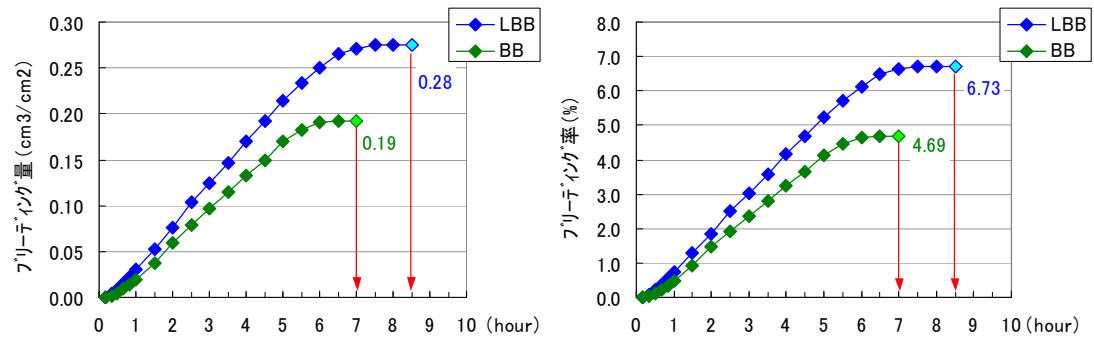


図-5. ブリーディング試験結果

3) 圧縮強度

試験で使用したコンクリートの材齢 91 日までの圧縮強度試験結果を図-6 に示す。LBB は BB に対して標準養生、現場封緘養生ともに、80%~90%の強度となっている。

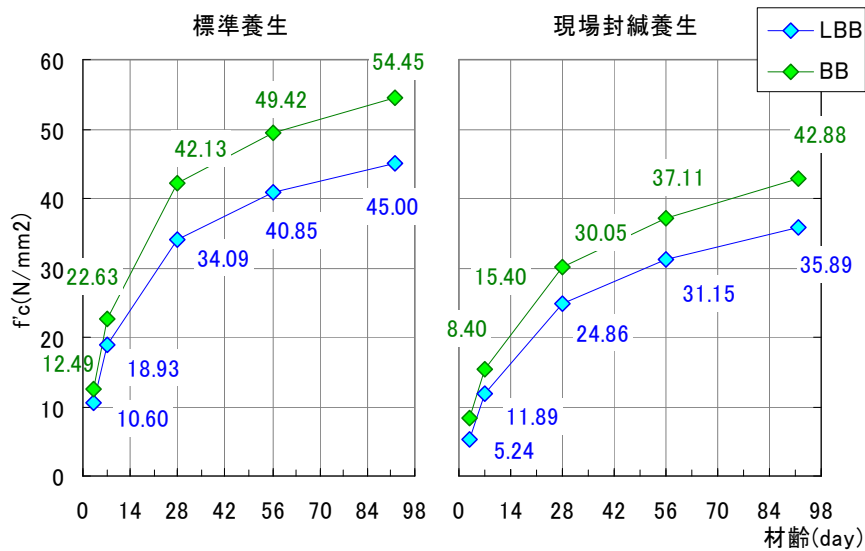


図-6. 圧縮強度試験結果

3.2 施工性能

1) 仕上げ時期

コテ仕上げ可能時期について確認したところ、LBB は打設完了から 14 時間以降、BB は 11 時間以降であった。LBB は BB と比べ 3 時間から 4 時間程度、仕上げ時期が遅れることを確認できた。

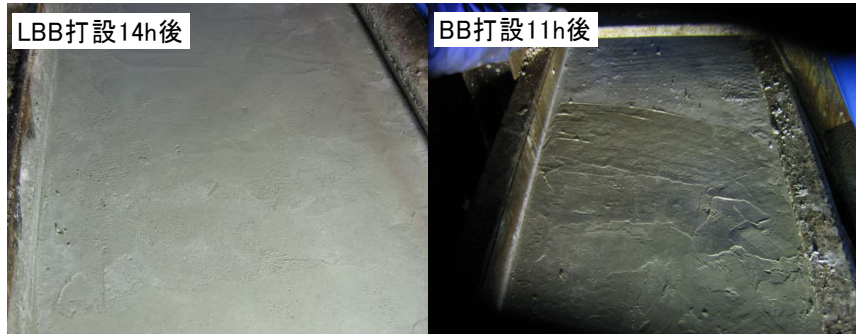


写真-2. 金コテ仕上げ状況

3.3 構造物の挙動

1) ひび割れの有無

脱枠後、構造物表面のひび割れ発生の有無を目視確認した。結果、LBB、BB ともに打設後 90 日時点において、ひび割れの発生は確認されなかった。

2) 温度履歴

構造物中心部の打設からの温度上昇履歴について図-7 に示す。

LBB は BB と比べ、最高温度上昇量が 4℃低く、最高温度到達時期が半日遅れる結果であった。また、温度降下勾配は LBB の方が若干緩やかである。

打設後 5 日以降では両者の温度差がなく、打設時の温度となる時期は、LBB、BB ともに打設後 10 日であった。

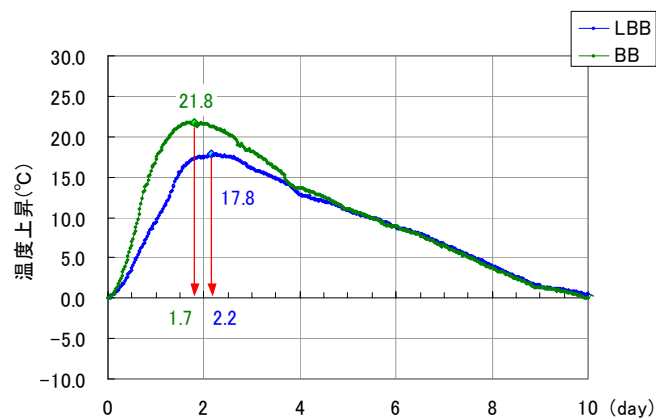


図-7. 中心部温度履歴

3) ひずみ

埋込みひずみ計位置の温度履歴と埋込みひずみ計から測定された実ひずみ履歴を図-8に示す。LBBはBBに比べ温度上昇が小さいにもかかわらず、初期の膨張ひずみがBBとほぼ同等となっている。また、温度降下時にLBBとBB間の温度差が少ないにもかかわらず、LBBの収縮ひずみ量が小さい結果となった。これは、材料組成として一般的な高炉セメントと比較して添加している石こう量が多いため、エトリングaitの生成による影響である。以上より、LBBはBBと比較して、温度変化に伴う膨張ではなく水和生成物による膨張効果を付与した結果として、収縮ひずみの低減が達成できていることが確認された。

構造物中心部に設置した埋込みひずみ計と無応力計の測定データから求めたコンクリート応力ひずみの履歴を図-9に示す。圧縮側応力ひずみはBBが最大で約 55μ であることにに対し、LBBは最大で約 100μ であり大きな圧縮側応力ひずみが生じている。また、ひずみ差はBBが最大で約 110μ あることにに対し、LBBは約 90μ であり、応力ひずみの引張側への移行量が少ない結果となった。以上より、LBBはBBと比較して、圧縮側で応力ひずみが推移していることが確認された。

無応力計の測定データから求めたコンクリートの自己収縮履歴を図-10に示す。LBBはBBに比べ初期膨張が大きく、その差は約 60μ である。また、LBBはBBに比べ収縮が緩やかであり、収縮量もBBに比べて約 30μ 小さい結果であった。LBBとBBそれぞれにおいて、前述した応力ひずみの相関と同様の傾向を示すことから、LBBの初期膨張の大きさと収縮量の少なさがLBBの応力ひずみをBBと比較して圧縮側で推移させている要因であると考えられる。

4. まとめ

LBBはBBと比較して、コンクリートの温度上昇量が小さく、温度降下も緩やかであることが確認された。加えて、初期膨張が大きく、自己収縮量及び速度が抑えられることが確認された。つまり、LBBはBBと比較して、引張応力の低減効果を得られるため、初期ひび割れの抑制を期待できると考えられる

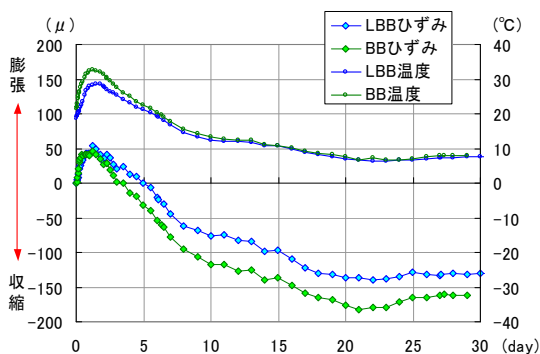


図-8. 温度と実ひずみ履歴

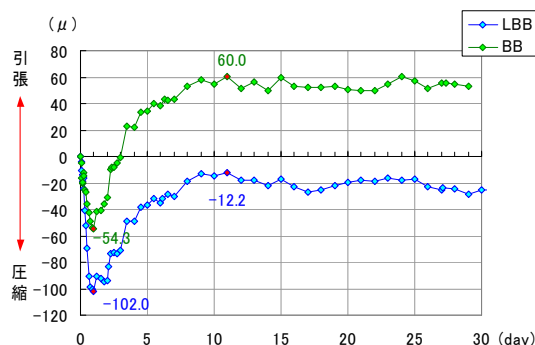


図-9. 応力ひずみ履歴

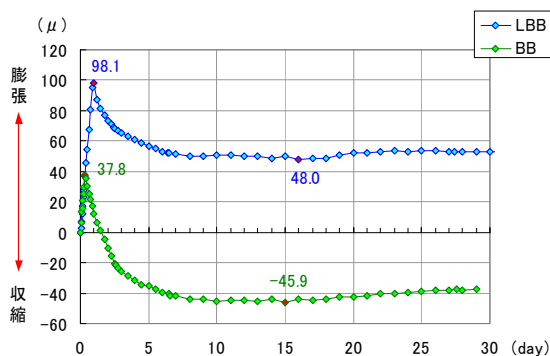


図-10. 自己収縮履歴

4. 高炉セメント C 種（バースクレーン基礎）

【資料 2】 参照