

大型はりの自己収縮応力の一検討

広島大学大学院 学生会員 ○加藤昂樹
 極東工業株式会社 正会員 河金甲
 広島大学大学院 フェロー会員 佐藤良一

1 はじめに

高強度コンクリート(UHSC)を用いた RC 部材では、若材齢時に自己収縮によって鉄筋に圧縮応力が蓄積される。収縮によって蓄積された圧縮応力はひび割れ発生時に解放され、収縮がない場合に比べて曲げひび割れ幅の増大、斜めひび割れ発生強度の低下など部材における構造挙動に影響を及ぼすことが知られているため、その予測は重要となる。

またコンクリートの高強度化に伴い単位セメント量の増加に伴い、水和熱が増大するため、構造物の寸法増大による断面内の温度上昇が顕著になる。そのため大型はりにおける断面内のコンクリート温度上昇が内部応力解析に及ぼす影響を把握しておく必要がある。そのためコンクリート温度を熱伝導解析によって算出し、その結果を増分型クリープ解析に連成させ部材の内部応力を算出する。

2 解析概要

2.1 解析概要供試体

供試体の使用材料を表-1 に示す。供試体は W/B=23%、普通ポルトランドセメントを使用した比較的自己収縮の大きいコンクリート (High Autogenous Shrinkage, 以下 HAS と記す) と W/B=23%、低熱ポルトランドセメント

を使用し、さらに膨張材、収縮低減剤を併用した自己収縮の小さいコンクリート (Low Autogenous Shrinkage, 以下 LAS と記す) の 2 配合である。その配合条件を表-2 に示す。以上自己収縮量の違

うコンクリートを用いて作製した RC はりを解析対象とする。

また今回、大型はりの断面内のコンクリート温度増大が応力解析に及ぼす影響を調べるために有効高さが 500、1000mm の RC はりを対象とし解析を行った。例として解析に用いた有効高さ 500mm の供試体の 1/4 モデルを以下図-3 に示す。はりのたわみを再現するためコンクリートの下にヤング係数の小さいダミーの要素を入れている。

有効高さ 1000mm のはりにおいては全要素数が 11937、全節点数が 14560 であり、有効高さ 500mm のは

表-1 使用材料一覧

材料名	記号	種類			
セメント	NC	普通ポルトランドセメント			
	LC	低熱ポルトランドセメント			
シリカフューム	SF	Elkem Microsilica Grade 940-U			
膨張材	EX	エクспан			
収縮低減剤	SRA	テトラガード AS21			
高性能AE減水剤	SP1	花王 マイティ 3000TH-2			
消泡剤	SP2	消泡剤 No.21			
	記号	種類	産地	表乾密度	粗粒率
粗骨材	G	砕石	島根県江津市	2.69	6.73
細骨材	S	混合砂	島根県江津市	2.61	2.70

表-2 配合条件

配合名	W/B (%)	s/a (%)	単位量(kg/m ³)								
			W	NC	LC	G	S	SF	EX	SRA	AD
HAS	23	45	155	607	0	894	731	67	0	0	12.1
LAS	23	45.3	155	0	567	894	740	67	40	6	10.1

NC:普通ポルトランドセメント,LC:低熱セメント,B:結合材,SF:シリカフ EX:膨張材,SRA:収縮低減剤,AD:高性能AE減水剤

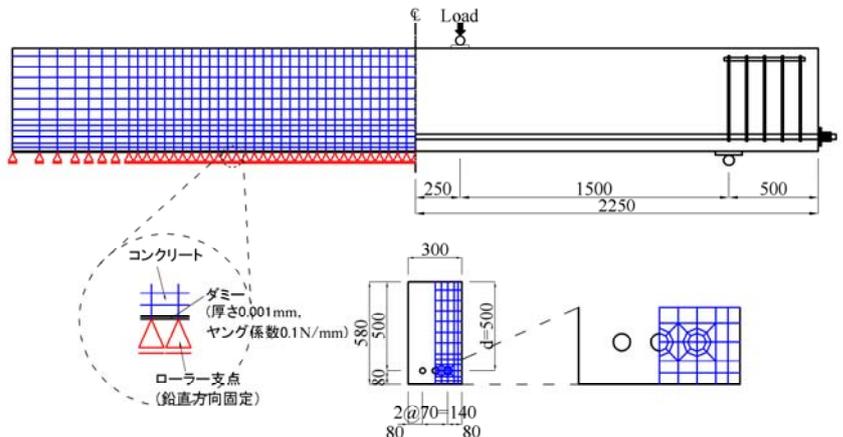


図-3 供試体メッシュ分割図

りにおいては全要素数が 3666、全節点数が 4640 である。

2.2 インプットデータ

インプットデータとして解析に用いたコンクリート物性値は表-4 に示すとおりである。また熱伝導解析においては断熱温度上昇量を求める必要があるが、その算出法についてはコンクリート標準仕方書を参照したが、今回高強度コンクリートを解析対象としており、LAS については混和材に膨張材を使用しているため、断熱温度上昇量を求めるために必要となる各係数については、実測値に解析値が合致するように決定

した。ここで熱伝達率については供試体型枠に木枠とその外側にメタルフォームを用いている。本来供試体型枠に木枠を用いている時には熱伝達率は $8(W/m^2\text{C})$ であるが、今回解析対象とした供試体型枠は木枠の外側をメタルフォームで覆っているため、木枠だけの場合よりも断熱効果が上昇することが考えられる。そのため熱伝達率は $5(W/m^2\text{C})$ と定めた。また断熱温度上昇量の変動開始点は鉄筋ひずみの変動開始点とし求め、その結果を図-5 に示す。

表-4 解析に用いたコンクリート物性値

	HAS	LAS	備考	
熱伝導率($W/m^2\text{C}$)	2.7	2.7	示方書より(一般的な値: 2.6-2.8)	
熱伝達率($W/m^2\text{C}$)	5	5	実験値に合うように決定	
比熱($kJ/kg^{\circ}\text{C}$)	1.15	1.15	示方書より(一般的な値: 1.05-1.26)	
断熱温度上昇特性	a	0.11	-	HAS: 示方書 LAS: 膨張材の効果不明のため実験値に合うように決定
	b	12	-	HAS: 示方書 LAS: 膨張材の効果不明のため実験値に合うように決定
	g	0.004	-	HAS: 示方書 LAS: 膨張材の効果不明のため実験値に合うように決定
	h	0.337	-	HAS: 示方書 LAS: 膨張材の効果不明のため実験値に合うように決定

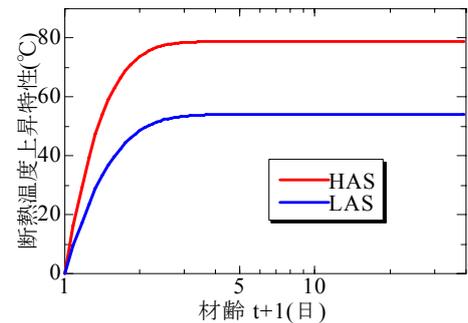


図-5 断熱温度上昇特性

3 解析結果

熱伝導解析により断面内のコンクリート温度を算出し、その結果を用いて載荷時材齢の影響を考慮した重ね合わせの原理に基づいた 3次元有限要素法によるクリープ解析⁽¹⁾を行った。

3.1 熱伝導解析

熱伝導解析結果を以下図-6,7 に示す。ここでは断面内における温度変化の比較のためにはり断面中央と下についての解析結果を示した。熱伝導解析によって HAS、LAS とともに実測値におおよそのコンクリート温度を推定できる結果が得られた。以下にその結果を示す。

まず HAS については材齢初期における温度変化が実測値と比べて精度よく評価できていることがわかる。インプットデータである断熱温度上昇量についてコンクリートの凝結開始点を鉄筋の応力変動開始点と一致させて考慮したが、その結果温度上昇開始点を実測値と同じ程度の点をとることができている。また断面増大による断面内のコンクリート温度が増大していることも解析結果より見てとることができる。

また LAS についても HAS と同様に材齢初期における温度変化が精度よく評価できている。また低熱ポルトランドセメントを使用していることから HAS と比べると低いコンクリート温度を解析結果においても示していることがわかる。

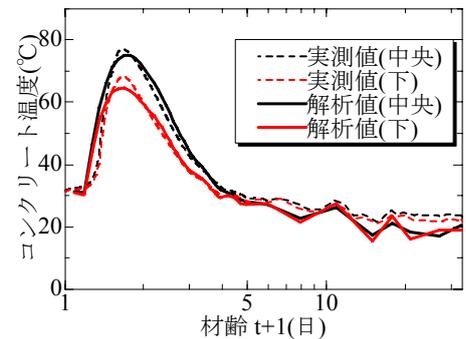


図-6 HAS1000mm のコンクリート温度

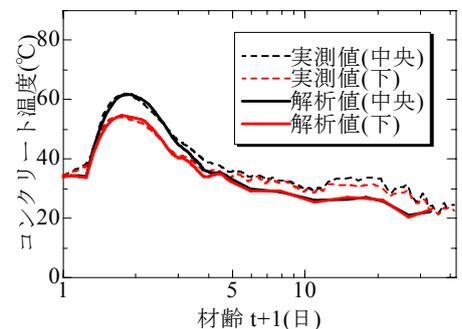


図-7 LAS1000mm のコンクリート温度

3.2 クリープ解析

クリープ解析において自己収縮ひずみの断面内分布を考慮するために用いた回帰曲線と自己収縮ひずみの経時変化を図-8,9に示す。この回帰曲線をインプットデータとしてクリープ解析を行った。解析結果を以下図-10,11に示す。

ここで図-10,11より解析値に一定と分布考慮の2種類の結果があるが、一定とは断面中央の自己収縮ひずみとコンクリート温度をはり断面一定としクリープ解析に用いたときの解析結果である。また分布考慮については各節点ごとに自己収縮ひずみ、また熱伝導解析により求めたコンクリート温度をクリープ解析に用いた結果を表している。図-10よりHASについては断面内の収縮、温度を断面中央の値で一定として用いた解析結果より実測値に近づく結果を得ることができた。高強度コンクリートにおいては自己収縮や温度応力の持つ影響は他のコンクリートよりも卓越しているために、断面内の収縮、温度変化を適切に評価しなければならないということがわかる。また図-11よりLASのクリープ解析結果においては若材齢の長さ変化の影響は受けておらず、おおよそ鉄筋応力の推定が可能であることを解析結果から読み取ることができる。これはLASにおいては膨張材、収縮低減剤を混和材料に用いているため、HASよりも自己収縮応力が発生しないためにひび割れは発生しないことから今回の線形クリープ解析を用いて解析することによって精度よく解析値を得ることができる。またHAS、LASともに鉄筋応力変動開始点を原点とした収縮、および熱伝導解析結果により、解析値は実測値と同等の鉄筋応力変動開始点をとることができている。

4 結論

- (1) 熱伝導解析によりコンクリート断面内の高さ方向の温度変化を精度よく解析することができた。
- (2) 荷重時材齢の影響を考慮した重ね合わせに基づいた増分型クリープ解析を用いることで、低熱セメント、膨張材、収縮低減剤を併用した収縮が小さい有効高さ1000mmのRCはりの鉄筋応力は推定可能であるということがわかった。また、高さ1130mm、幅が300mmのRCはりにおいても断面内の若材齢時長さ変化の分布の考慮は鉄筋応力の推定には影響を及ぼさなかった。
- (3) 収縮が大きいRCはりのクリープ解析結果について、有効高さ500mm、100mmとも鉄筋応力の実測値を過大評価した。しかし、若材齢時における長さ変化の分布を考慮して解析を行うと、有効高さ1000mmのRCはりでは鉄筋応力の推定精度向上が認められた。

参考文献

- (1) H. Ito, I. Maruyama, M. Tanimura, R. Sato : Early Age Deformation and Resultant Induced Stress in Expansive High Strength Concrete, Joournal of Advanced Concrete Technology, Vol. 2, No. 2, pp.155-174, 2004

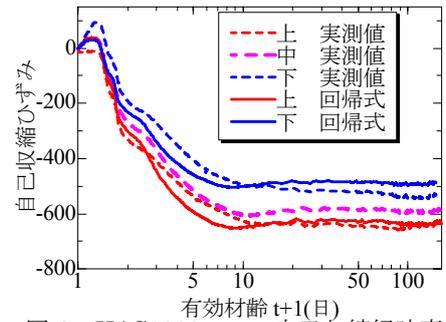


図-8 HAS1000mmの自己収縮経時変化

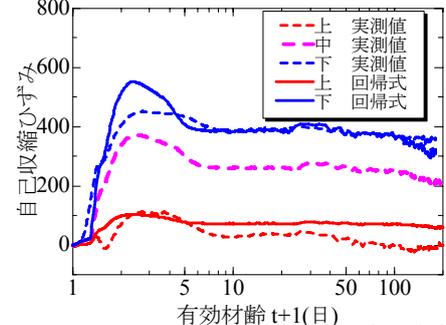


図-9 LAS1000mmの自己収縮経時変化

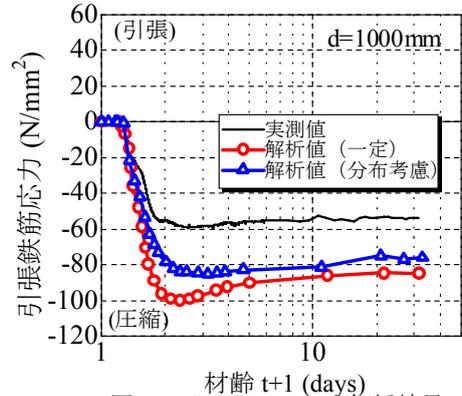


図-10 HAS1000mm解析結果

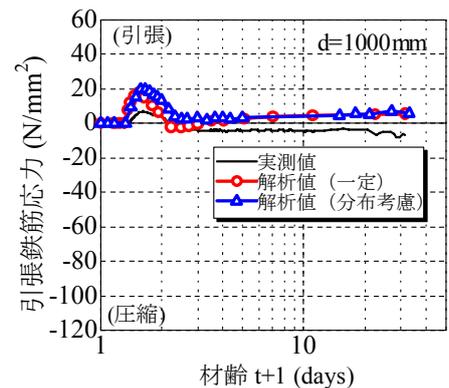


図-11 LAS1000mm解析結果