

高強度コンクリートの低収縮化による RC 部材の変形性能の向上

広島大学大学院	学生会員	○平松洋一
広島大学大学院	学生会員	正木 聡
太平洋セメント（株）	正会員	谷村 充
広島大学	正会員	佐藤良一

1. はじめに

高強度コンクリートは水結合材比が小さいことから、初期材齢から大きな自己収縮を生じることが明らかとされ、この収縮が鋼材などに拘束されて生じる拘束応力は大きくなる場合があり¹⁾、RC 部材などの変形性能に影響することが懸念されている。本研究では、低熱ポルトランドセメント、膨張材、収縮低減剤を用いることで高強度コンクリートの低収縮化を図り、それによる RC 部材の変形性能の向上効果を実験的に検討した。

2. 実験概要

低熱ポルトランドセメントおよび普通ポルトランドセメントを使用し、自己収縮の低減を図るために混和材料として膨張材と収縮低減剤を使用した。その配合は低熱ポルトランドセメントを使用したもの(LC)、LC に膨張材を混和したもの(LE)、LC に収縮低減剤を混和したもの(LS)、両者を併用したもの(LSE)および普通ポルトランドセメントを使用したもの(NC)の 5 種類とした。全ての配合の水/(セメント+膨張材)比は 30% の一定とした。各配合に対して、RC はり供試体(200×250×2700mm、有効高さ 210mm、引張鉄筋比 1.36%)および無拘束供試体(200×250×500mm)を 1 体ずつ作製した。全ての供試体は、材齢 1~2 日の時点で脱型した後、すぐに供試体全面をアルミ箔粘着テープでシールした。はり供試体については、引張鉄筋の中央部に貼付したひずみゲージにより測定した鉄筋ひずみから、はり下縁の拘束応力を求めるとともに、材齢約 65 日の時点で静的載荷試験(支間 2100mm、等曲げ区間 800mm の 2 点載荷)を行った。静的載荷試験直前に測定したコンクリートの圧縮強度は、各配合とも約 75N/mm²であった。

3. 実験結果

(1) 自由膨張・収縮ひずみ

図 1 に自由膨張・収縮ひずみを示す。これより低熱ポルトランドセメントを用いた LC は自己収縮をほとんど生じておらず、普通ポルトランドセメントを用いた NC と比較すると、大幅な自己収縮の低減が可能である。LC に膨張材を混和した LE、LSE をみると、初期材齢において大きな膨張ひずみを発現し、長期的にも維持される傾向にある。収縮低減剤を添加した LS は、LC の自己収縮ひずみをより低減している。

(2) はり下縁に生じる拘束応力

図 2 に載荷以前にはり下縁に生じる拘束応力を示す。NC を用いたはりの下縁には引張の拘束応力が生じており、その値は約 1.2N/mm²である。一方、LC、LS の場合はほぼ無応力状態となっており、これらに膨張材を混和した LE、LSE の場合には、約 1.5N/mm²の圧縮応力が作用している。これより、低熱ポルトランドセメントの使用は、自己収縮応力の低減に極めて効果的であり、膨張材の混和によっては、その使用量をさほど増すことなく、高強度コンクリートにケミカルプレストレスを付与することが可能である。

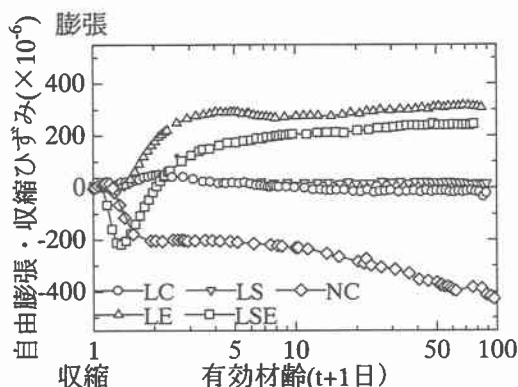


図 1 自由膨張・収縮ひずみ

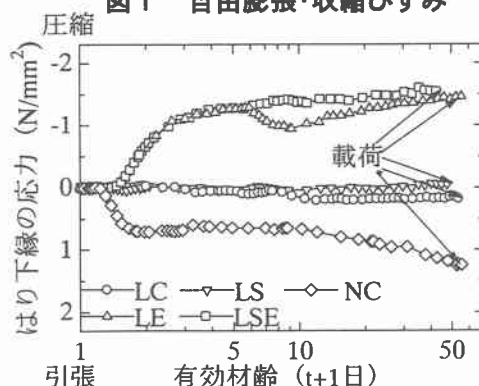


図 2 はり供試体下縁の応力

(3) RC はりの変形性能

図3にM-φ関係を示す。表1には、従来のRC理論により求めた鉄筋応力の増加量が150N/mm²となる時点でのたわみの実測値、ならびにNCを1とした場合に対する各配合のたわみの比を示す。図3より、自己収縮の低減化によって、同一曲げモーメントにおける平均曲率は明らかに減少している。表2から、低熱ポルトランドセメントに膨張材を混和したLE、LSEのたわみは、普通ポルトランドセメントのみを使用したNCの約50%となっており、大幅に改善されている。

図3において、全断面有効時はいずれの配合の場合も計算値、と実験値はほぼ一致するが、ひび割れ断面をみるとほぼ無収縮のLCおよびLSを除き、計算値と実測値は明らかに異なっている。この理由としては、載荷以前に生じる自己収縮や自己膨張の影響を考慮していないことが考えられる。そこで、引張鉄筋と同位置にあるコンクリート応力がゼロの状態からの鉄筋応力の変化量を考慮することで、ひび割れ断面におけるM-φ関係を求めた。まず、平面保持を仮定し、ひび割れ断面におけるひずみの適合条件より曲率(φ)は式(1)のようになる。

$$\phi = \frac{\frac{\sigma_{se}}{E_s} - \frac{\sigma_c}{E_c}}{d} \quad (1)$$

σ_{se}:鉄筋応力の変化量

σ_c:圧縮縁のコンクリート応力

E_c, E_s:コンクリート及び鉄筋の弾性係数、d:有効高さ

そして式(1)をBranson式に組み込むことによって式(2)を得る。

$$E_c I_e = \left(\frac{M_{cr}}{M_d} \right)^4 E_c I_g + \left[1 - \left(\frac{M_{cr}}{M_d} \right)^4 \right] \frac{M_d}{\phi} \quad (2)$$

この有効曲げ剛性を用いて、M-φ関係を求めて示したのが図4である。図中のひび割れ断面(1)は自己収縮あるいは自己膨張を考慮しない場合であり、ひび割れ断面(2)はそれらを考慮した場合である。なお、計算にあたりM_{cr}には実測値を用いている。これらの図から、自己収縮が大きい場合や、自己膨張を生じるコンクリートの場合も、従来のRC理論に基づく計算値と比較し、それらによって蓄積された変化ひずみを考慮した計算値は、実測値とよく一致している。

4. まとめ

低熱ポルトランドセメントを使用した高強度コンクリートの自己収縮は小さく、これに膨張材を混和することによりRCはり下縁に圧縮応力が生じるほどになった。このようなコンクリートを使用したRCはり、低収縮化を図らないものと比べ変形性能が大幅に改善された。また、載荷以前に蓄積された変化ひずみを考慮することにより、従来のRC理論の場合よりも精度のよい変形予測が可能である。

参考文献 1)宮澤伸吾、田澤榮一、佐藤 剛、佐藤克俊:コンクリート工学年次論文報告集、Vol. 15、No. 1、pp57-62、1993

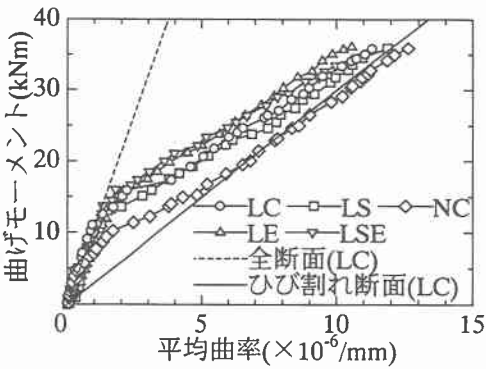


図3 M-φ関係

表1 α_s=150N/mm²のときのたわみ

配合	δ	NC=1とした場合
	mm	
LC	1.144	0.59
LE	0.909	0.47
LS	1.227	0.63
LSE	0.890	0.46
NC	1.932	1.00

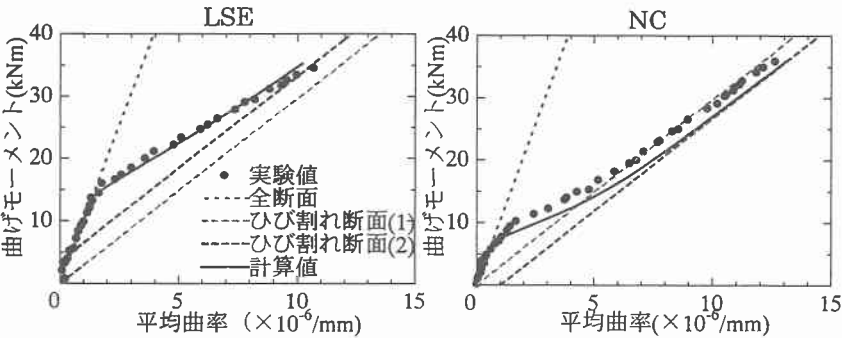


図4 実験値と計算値の比較

E_cI_e:有効曲げ剛性
 E_cI_g:全断面有効時の曲げ剛性
 M_{cr}:ひび割れ発生モーメント
 M_d:変位・変形量計算時の設計曲げモーメント