膨張性球状塊の製造とアルカリ骨材反応の再現試験に関する基礎的検討

東京大学生産技術研究所　正会員　○西村 次男　　住友大阪セメント　正会員　小田部裕一
長岡技術科学大学　正会員　田中 泰司
東京大学生産技術研究所　正会員　岸　利治　東京大学生産技術研究所　F 会員　魚本 健人

1. 目的

アルカリ骨材反応（ASR）によるコンクリートの膨張によって，鉄筋コンクリート構造物中の鉄筋が破断する問題に対して，著者らはその機構解明に関して検討してきた[1),2)]．鉄筋破断の機構解明には，ASR 膨張を忠実に再現することが重要であり，ASR に最も近い挙動を示す膨張性球状塊を製造するに至った．本稿は，膨張性球状塊について解説するとともに，ASR の再現試験に関する基礎的検討について報告するものである．

2. 膨張性球状塊の概要

ASR 膨張は，膨張コンクリートのようにセメントペーストマトリックス自体が膨張する現象とは異なり，粗骨材自体が体積膨張することによってコンクリート部材に巨視的な体積膨張を生じさせる．セメントペーストマトリックスが過度に膨張した場合，硬化体の強度が著しく低下し，コンクリート内部の鋼材に伝達する応力は小さく，鋼材に大きな変形を与えることができない．一方，ASR 膨張は，セメントペーストマトリックスが強固になった段階で粗骨材が体積膨張するため，鋼材に大きな変形を与えることができる．膨張性球状塊とは，ASR 膨張を再現させるべく考案した材料であり，膨張材と細骨材に少量の水を添加し混練することによって膨張材と細骨材を球状に造粒させた人工粗骨材である（以下，膨張性人工粗骨材と称す）．更に，膨張性人工粗骨材を造粒する段階で原料である膨張材の反応を抑制するために少量の水を加えると同時に遅延剤を添加する．この遅延剤の量を調整することによって，膨張性人工粗骨材をコンクリート材料として用いる際に，練混ぜ水と膨張性人工粗骨材の急激な反応を抑制することもできる．代表的な膨張性人工粗骨材の混合比率は表 1 に示す通りであり，この混合比率に基づいた材料を一定方向に攪拌力が加わるミキサで混練することによって，写真 1 に示したような膨張性人工粗骨材が製造できる．

表 1　膨張性人工粗骨材の代表的な混合比

混合比率（重量比）			
膨張材	細骨材	水	遅延剤
1.00	0.50	0.15	0.01

写真 1　膨張性人工粗骨材

3. ASR 再現性確認試験

上述した膨張性人工粗骨材を用いて ASR 再現性の確認試験を実施した．使用したコンクリートの配合は表 2 に示す通りである．今回は早期に ASR の再現性を確認するために，膨張性人工粗骨材に含まれる遅延剤の量を調整するとともに，初期に強度が得られるように早強ポルトランドセメントを使用した．まず，φ100×200mm の円柱供試体を作製し，拘束条件の変化による供試体の変状を確認した. 拘束条件はプラスティック製の簡易型枠と鋼製の型枠を使い分けることによって変化させたが，プラスティック製の簡易型枠を用いた場合では，拘束力が低いため膨張性人工粗骨材の膨張圧によって，

表 2　コンクリートの配合

W/C (%)	単位量（kg/m^3）					
	W	C	S	G_N*1	G_E*2	SP
45.0	168	373	836	586	350	3.73

＊1：砕石，＊2：膨張性人工粗骨材

キーワード　アルカリ骨材反応，膨張材，人工粗骨材
連絡先　〒153-8505　東京都目黒区駒場 4 丁目 6-1　東京大学生産技術研究所　TEL03-5452-6393

供試体が体積膨張を起こし，簡易型枠に亀裂が生じた．その供試体の様子を示したのが写真 2 であり，材齢 2 日の時点で亀甲状のひび割れが多数発生していた．一方，鋼製型枠を用いた場合では，拘束力が増したため，材齢 3 日でも目視で確認できるひび割れは皆無であり，23N/mm^2 の圧縮強度を示した．このようにある程度の拘束が加われば，セメントペーストマトリックスの強度が確保され，その後の膨張性人工粗骨材の反応によって，鉄筋に応力を伝達できるだけの膨張圧が作用すると考えられる．そこで，高さ（厚み）方向 2 段に配筋された帯鉄筋を埋設した平板状の試験体を作製し，幅・奥行き方向の変位を測定した．変位の測定は帯鉄筋内部の拘束を受ける部分を対象としており，これによって鉄筋ひずみも把握することができる．この試験体の概略を図 1 に示す．

写真 2　無拘束状態の供試体

図 2 は平板状試験体の変位の測定結果である．この図から，コンクリート打設後 2 日以降に 3～6mm の変位を記録し，15 日までは徐々に変位が増加していくが，その後急激に変位が増加しているのが分かる．測定を打ち切った 24 日では最大で 20mm 近い変位を記録しており，コンクリート打設直後は幅・奥行きとも 600mm であった試験体の寸法は，この時点で 630mm 程度にまで膨張していた．打設後 15 日以降で変位が急激に増加した段階で鉄筋に何らかの変状が生じたものと考え，試験体内部から鉄筋を取り出してみたが，鉄筋破断は確認できなかった．しかしながら，鉄筋の各所をマイクロスコープによって観察したところ，写真 3 に示すような亀裂が隅角部の付近で確認できた．

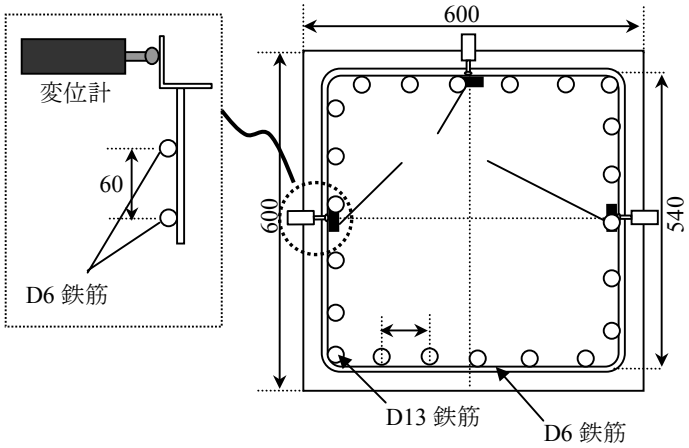

図 1　試験体の概略

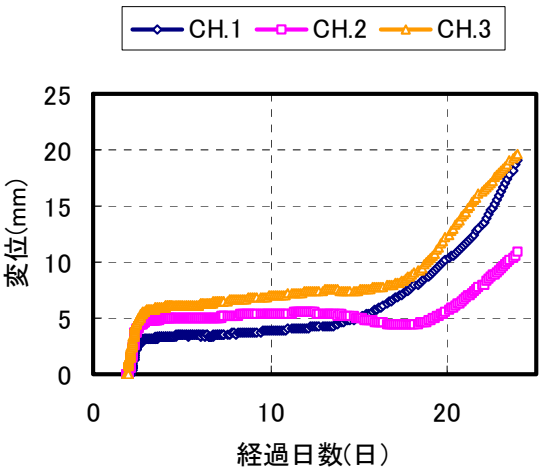

図 2　平板試験体による変位測定結果

今回，膨張性人工粗骨材を製造することによって，実際の ASR に近い現象をほぼ再現できたと考えられる．近年報告されたような鉄筋破断 [3]はまだ確認できなかったが，今後，膨張性人工粗骨材の使用割合や使用鉄筋の妥当性等の検討を進めていくことによって，鉄筋破断の事実確認およびその機構解明に役立つものと考えている．

4. まとめ

膨張性人工粗骨材の製造によって，ASR 膨張を模擬した現象をほぼ再現することができた．これまでの実験結果では，鉄筋破断の現象をまだ確認することはできなかったが，今後鉄筋破断の事実確認および機構解明を進めていく上での代替促進試験の基本的な方法案は確立することができた．

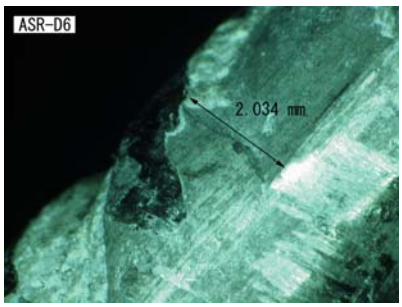

写真 3　鉄筋に生じた亀裂

参考文献

1) 西村次男，田中泰司，岸利治，魚本健人：曲げ加工時における異形鉄筋のひずみ測定，土木学会第 59 回年次学術講演集，pp.37-38，2004
2) 田中泰司，西村次男，岸利治，魚本健人：コンクリートの膨張作用を受けた鉄筋隅角部のひずみ分布，土木学会第 59 回年次学術講演集，pp.695-696，2004
3) アルカリ骨材反応による鉄筋破断が生じた構造物の安全性評価（中間報告），土木学会誌，Vol.88，2003