

ペースト供試体を用いた膨張作用に起因する微細不連続面の性質の検討

東京大学大学院 学生会員 ○酒井 雄也
 東京大学生産技術研究所 正会員 岸 利治

1. はじめに

膨張コンクリートは、非線形挙動やテンションステイフニング効果向上、ひび割れの幅や本数の減少など、特徴的な挙動を示すことが知られている。しかしながら、上記挙動のメカニズムには不明な点が残っており、定量的な評価手法も確立されていないため、利点が十分に活用されていないのが現状である。細田ら¹⁾は膨張作用により硬化体のひずみがばらつき、徐々に損傷が生じることで非線形挙動(図-1)が発現するというコンセプトを示している。上記は、著者ら²⁾によって数値解析的検討にも確認されている。また膨張作用による微細な不連続面の存在は、過去に中村ら³⁾によって確認されている。本研究では、膨張作用によって生じる微細不連続面の存在の確認と材齢および拘束の影響に関する検討を、ペースト供試体を用いて行い、膨張コンクリートの特徴的な挙動の1つである非線形挙動のメカニズム解明に資する知見の収集を行った。

2. ペースト供試体を用いた微細不連続面の検討

(1) 検討概要

微細不連続面の存在を確認するためにSEMを用いた直接観察を実施し、その性質を検討するために3点曲げ試験を実施した。観察を容易にするため、またペースト部分に生じると考えられる微細不連続面の性質をより明確に抽出するため、対象はペースト供試体とした。配合を表-1に示す。

(2) 微細不連続面存在の確認

SEM観察用のペースト供試体はφ50×100mmの鋼製型枠を用いて作製した。打設後24時間で脱型して、無

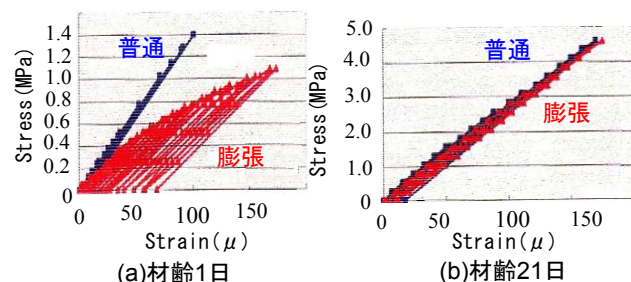
図-1 モルタルの繰り返し引張試験結果¹⁾

表-1 SEM観察用のペースト供試体の配合

	W/B (%)	単位体積重量(kg/m ³)		
		W	C	E(置換率)
N	40	557	1383	0
E	40	557	1176	207(15%)

拘束水中養生とすることで、微細不連続面の発生しやすい条件とした。材齢7日の供試体からノミで採取した小片を図-2に示す。普通ペーストでは滑らかな破壊面であるのに対して、膨張ペーストでは凹凸のある粗い表面性状を有している。小片の表面を、サンドペーパーおよび液体金属磨きを用いて平滑にし、SEM観察を実施した。結果を図-3に示す。図中に楕円で示すように微細不連続面が発生しており、膨張材混入によってサイズの大きな不連続面が生じていることが確認できる。この不連続面のサイズオーダーは、図-4に示す研磨前の試料表面の凹凸のサイズオーダーとほぼ一致している。これは、ひび割れの進展が微細不連続面によって影響されていることを示唆している。すなわち、ひび割れが微細不連続面に到達すると、その進展方向が不連続面によって転換される。これを繰り返してひび割れが進展した結果、微細不連続面と表面の凹凸のサイズオーダーが一致したものと考えられる。

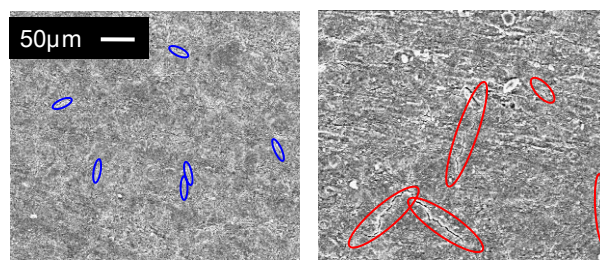
(3) 微細不連続面の性質

確認された微細不連続面の性質を理解するため、



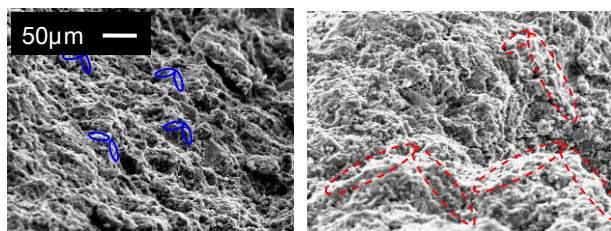
(a)普通ペースト N (b)膨張ペースト E

図-2 ペースト小片の破壊面



(a)普通ペースト N (b)膨張ペースト E

図-3 SEM観察結果(研磨後, 300倍)



(a)普通ペースト N (b)膨張ペースト E

図-4 SEM観察結果(研磨前, 300倍)

キーワード 膨張材, 微細不連続面, 非線形挙動

連絡先 〒153-8505 東京都目黒区駒場 4-6-1 生産技術研究所 Be407 岸研究室 TEL 03-5452-6098 (Ex.58090)

表-2 ケース名と実験条件一覧

ケース名	膨張材	試験材齢	養生条件	拘束
Nw7	無	7 日	水中	無
Ew7	有	7 日	水中	無
Ew28	有	28 日	水中	無
Esc7	有	7 日	封緘	有
Es7	有	7 日	封緘	無

表-3 吸水量測定用コンクリートの配合

case.	W/B (%)	単位量(kg/m ³)					
		W	C	EA	G	S	AE
Nc	45	180	400	0	915	814	C×0.002%
Ec50	45	180	350	50	915	814	C×0.002%

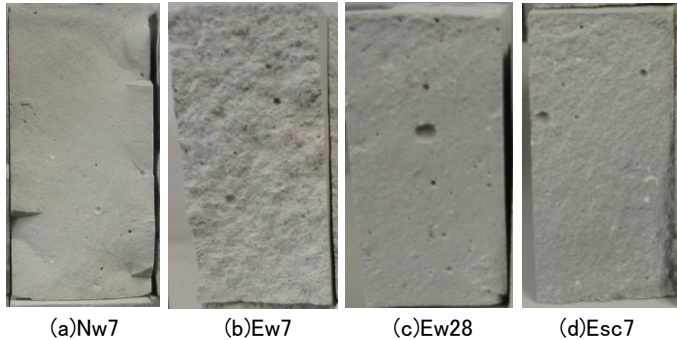


図-5 曲げ試験後の破壊面



図-6 吸水量測定の様子

120×40×20mm (スパン長 110mm) の角柱ペースト供試体を作製し、3 点曲げ試験を実施した。配合は表-1 と同様である。検討ケースを表-2 に、試験後の破壊面の様子を図-5 に示す。試験材齢 7 日と 28 日の膨張ペースト (図-5 (b) と (c)) を比較すると材齢の経過により、破壊面の凹凸が抑制されていることが確認できる。封緘拘束を与えた Esc7 においても、拘束の無い Es7 と比較して凹凸が抑制されている。破壊面の凹凸の抑制は微細不連続面の縮小に起因すると考えられることから、発生した微細不連続面は、材齢の経過や拘束の付与により抑制されるものと考えられる。

3. 微細不連続面による物質移動抵抗性の変化の検討

膨張作用により微細不連続面が発生した場合には、物質移動抵抗性が低下する可能性が考えられる。そこで、無拘束コンクリート供試体の表面吸水試験を実施した。配合を表-3 に示す。鋼製型枠を用いて 400×100×100mm の角柱供試体およびφ100×200mm の円柱供試体を作製し、打設後 24 時間で脱型して無拘束水中養生を与えた。円柱供試体を用いて材齢 28 日における圧縮強度を測定した結果、E50 の圧縮強度は 45.4N/mm² と、N の 56.8N/mm² を下回ったことから、微細不連続面が生じているものと考えられる。角柱供試体に関しては、材齢 28 日から 20℃一定の気乾養生とし、材齢 35 日で吸水量を測定した (図-6)。測定の結果、10 分間の吸水量はいずれも 2ml であり、意図的に微細不連続面が生じやすい条件を与えた場合でも、吸水量に変化は生じなかった。

4. 若材齢時の非線形挙動メカニズムに関する考察

膨張作用により硬化体の初期ひずみがばらつき、変形に伴って引張りひずみが導入された部分から微細な損傷が生じるというコンセプトは細田ら¹⁾によって提案され、筆者ら²⁾によって数値解析的に確認されている。

また図-1¹⁾に示すように、非線形挙動は材齢の経過に伴い抑制される。膨張ペースト中に微細不連続面の発生が確認され、これに起因すると考えられる破壊面の凹凸が材齢の経過に伴って抑制されたことは、上記コンセプトを裏付けると共に、ペーストレベルで、その直接的な証拠を確認したものであると考えている。

5. まとめ

結論を以下に纏める。1) 膨張材の混入によりペースト供試体に微細不連続面が発生した。2) 微細不連続面は材齢の経過や拘束により抑制された。3) 膨張セメントペーストでは、微細不連続面の存在が直接的に非線形挙動を支配しているものと考えられる。4) 膨張材を 50kg/m³ 混入し、微細不連続面が発生したと考えられる場合でも吸水量は普通コンクリートと同様であった。

本検討では補強材を内在しないペースト供試体を用いた検討を行ったが、膨張材により鉄筋コンクリートにケミカルプレストレスを導入した場合には、初期ひずみのばらつきを背景として、荷重の増加に伴って微細不連続面が順次形成されて非線形挙動を誘発することとも考えられる。今後一層の機構解明を進めていく。

本研究は平成 21 年土木学会吉田研究奨励賞の研究奨励金を受けて実施した。ここに記して謝意を示す。

参考文献

- 1) 細田暁ら：膨張モルタルの非線形挙動とひび割れ抵抗性の機構について，土木学会論文集，No.683/V-52，pp.13-29，2001.8
- 2) 酒井雄也ら：膨張コンクリートの非線形性およびテンションスティフニング効果向上のメカニズムに関する解析的検討，コンクリート工学年次論文集，Vol.32，No.2，pp.469-474，2010
- 3) 中村孝則ら：膨張材によるセメント硬化体の膨張変形，セメント技術年報，26，pp.158-160，1972