高速度カメラを用いたコンクリートのひび割れ進展評価

東京工業大学大学院　学生会員　○梁田　真広
東京工業大学大学院　正会員　渡辺　健
東京工業大学大学院　フェロー　二羽　淳一郎

1. はじめに

本研究では，従来計測が困難であった載荷中コンクリートのひび割れ進展を，1 秒間に数十万枚の画像を撮影可能な高速度カメラを用いて把握する．コンクリートの引張強度 f_t を評価する割裂引張試験として，JIS A 1113 では**図-1(a)**に示す方法を規定している．一方，ASTM C496-66 では，載荷点の応力集中によるひび割れ発生を防ぐため，**図-1(b)**のように供試体と載荷板間への分布板の挿入を規定している．そこで，ラワンベニヤを分布板として用いて 2 種類の試験方法を検証し，町田 [1]の得た結論を確認した．また，供試体の厚さやモデル骨材の配置とひび割れ発生位置の関連を，**図-1(a)**による方法で試験し，検証した．一軸圧縮試験では，供試体と載荷板間の摩擦とひび割れ進展の関連が指摘されている [2]．そこで，**図-2(a)(b)**に示すような一軸圧縮試験におけるひび割れ進展を観察すると同時に，算定される圧縮強度とひび割れ進展性状を比較した．

2. 割裂引張試験のひび割れ進展評価

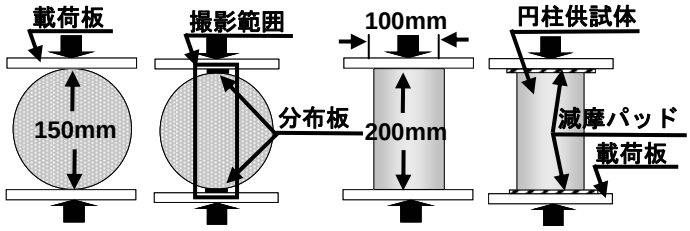
2-1. 実験概要

撮影速度は，90,909fps(fps：1 秒間に記録可能な画像の枚数)である．**表-1** に，使用したコンクリートの示方配合を示す．圧縮強度 f'_c=31.7N/mm^2 の N，および f'_c=89.1N/mm^2 の H としたコンクリート供試体を用い，分布板なしを N150，H150，分布板ありを N'150，H'150(いずれもϕ150×150mm)，および薄型の NP(ϕ150×25mm)と称することとした．また，**図-3** に示すように，モデル骨材として異形鉄筋 D16(降伏強度 386N/mm^2，弾性係数 200kN/mm^2)を 1～3 個埋設したϕ150×25mm のセメントペースト(水セメント比 *W/C*=50%)の供試体(CP1-CP3)を作製した．**図-4** に，高速度カメラの設置位置を示す．NP と CP1-CP3 は分布板を用いずに載荷した．

2-2. 実験結果

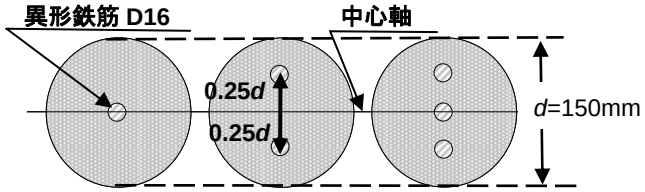
(1)分布板の有無によるひび割れ進展性状の変化

図-5 に，N150，N'150，H150，および H'150 のひび割れ進展状況，および引張強度を示す．分布板を使用すると，算定される引張強度が増加することが確認できる．N150 では，発生後ひび割れが載荷板間で連結するまで 0.0109 秒経過したのに対し，N'150 では発生から 0.431 秒経過しても載荷板間で連結せず，平均的な進展速度は N150 と比較して約 1/40 倍であった．同様に，H150 に比較して H'150 も約 1/115 倍の平均ひび割れ進展速度を示した．すなわち，分布板を使用すればひび割れ進展が遅くなると同時に，見かけ上引張強度が高くなっている．しかし，いずれの供試体も供試体の中



(a)分布板なし　(b)分布板あり　(a)端部摩擦あり　(b)端部摩擦なし

図-1　割裂引張試験方法　　図-2　一軸圧縮試験方法



(a)CP1　(b)CP2　(c)CP3

図-3　モデル骨材(異形鉄筋)の配置図

表-1　示方配合

供試体	*W/C* (%)	単位量（kg/m^3）				
		水	セメント	細骨材	粗骨材	混和剤※
N	50	177	354	820	950	0.7
H	25	174	720	550	950	3.5

※N には AE 減水剤，H には高性能減水剤を使用

図-4　実験概要図

キーワード　高速度カメラ，ひび割れ進展，割裂引張試験，一軸圧縮試験，端部摩擦
連絡先　〒152-8552　東京都目黒区大岡山 2-12-1　M1-17

央部にひび割れ発生が確認できた．N150 では，最初のひび割れ発生後 0.0109 秒後にひび割れが載荷点に発生した．これは，H150 に関しても同様であり，最初のひび割れ発生から 0.00014 秒後に加圧部からの新たな発生が確認できる．以上から，JIS A 1113 による試験では，加圧部から供試体の破壊は進行しない．試験の簡便さも考慮すれば，分布板は不要であるといえる．

(2)鉄筋の配置によるひび割れ進展の変化

図-6 に，供試体 NP および CP1～CP3 の割裂引張試験におけるひび割れ発生を示す．**図-6(a)**から，NP ではひび割れが供試体端面の中心部から発生した．**図-6(b)**から，CP1 では供試体の中心から 0.35*d*～0.40*d*(*d*:供試体直径)離れた位置にひび割れが発生した．一方，**図-6(c)**と**(d)**から，CP2，CP3 では鉄筋とセメントペーストの境界付近でひび割れが発生した．つまり，鉄筋とペースト部の界面部が供試体断面積に対して大きくなると，ひび割れが界面付近で発生しやすくなり，鉄筋の配置によりひび割れ発生位置が変化したと言える．

3. 一軸圧縮試験におけるひび割れ進展評価

3-1. 実験概要

コンクリートの示方配合は，**表-1** における *W/C*=50%の配合と同様である．一軸圧縮試験では，ϕ100×200mm の円柱供試体を用いた．載荷時の減摩パッドなしの供試体を CO，減摩パッドありを COT と称す．なお，2 枚のテフロンシート(厚さ 0.5mm)にグリースを挿入し減摩パッドとした．撮影速度は 4,000～4,500fps とした．

3-2. 実験結果

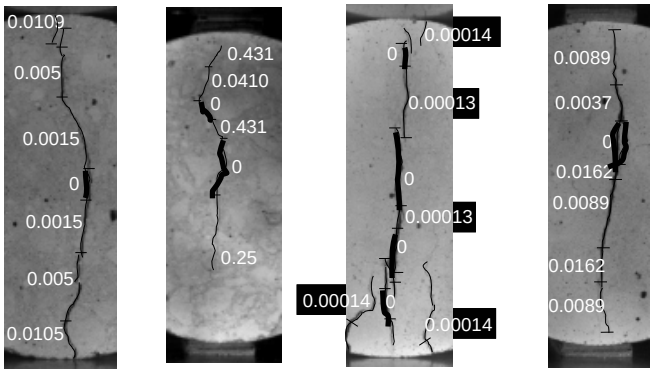
図-7 に CO および COT の画像と，載荷後の供試体端面を示す．COT の圧縮強度は，CO に比べて 94.6%に低下した．**図-7** で四角の領域のひび割れに注目すると，COT では図中の太線で示したひび割れが，端部を起点として下方向に進展したことがわかる．CO においても端部に到達しているひび割れは確認できるが，載荷板に向かって進展していること，および端面にひび割れが発生していないことから，端部が起点となったひび割れではない．すなわち，端部摩擦の有無によりひび割れ進展方向が変化し，このことが見かけの圧縮強度にも関連していると推察できる．

4. 結論

(1) 割裂引張試験では，分布板を使用するとひび割れ進展は遅くなり，見かけの引張強度も高くなる．しかし，載荷点のひび割れは供試体の強度低下の原因ではなく，試験の簡便さから見て分布板は不要である．

(2) CP1，CP2，CP3 および NP の割裂引張試験から，供試体の厚みよりもコンクリートの不均一性によりひび割れ発生位置が変化すると推察される．

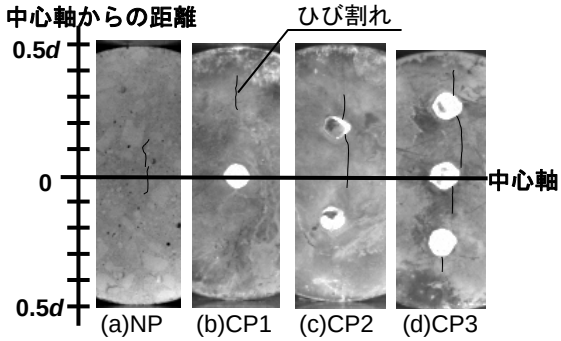
(3) 一軸圧縮試験において，端部摩擦を減じると圧縮強度が低下する．このとき，端部を起点としたひび割れ発生が確認できた．



(a)N150 (f_t=3.03N/mm^2) (b)N'150 (f_t=3.65N/mm^2) (c)H150 (f_t=5.55N/mm^2) (d)H'150 (f_t=7.04N/mm^2)

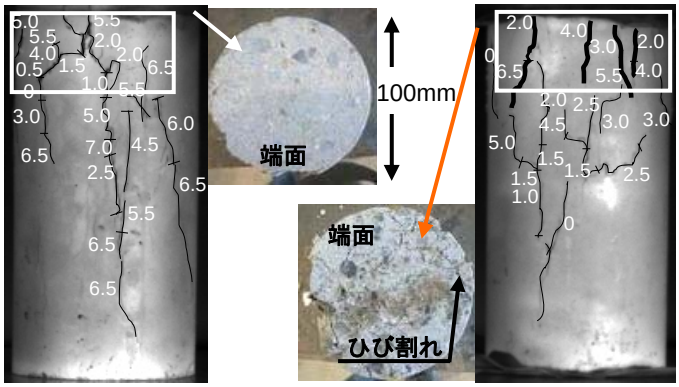
図中の数字は太線で示す最初のひび割れ発生からの時間

図-5 分布板の有無および圧縮強度によるひび割れ進展の違い



(a)NP (b)CP1 (c)CP2 (d)CP3

図-6 ひび割れ発生後 0.000011 秒後の NP と CP1～CP3



(a)CO(圧縮強度 31.7N/mm^2) (b)COT(圧縮強度 30.0N/mm^2)

図中の数字は最初のひび割れ発生からの時間(秒)

図-7 圧縮試験におけるひび割れ図

参考文献

1) 町田篤彦：コンクリートの圧裂試験に関する基礎研究，土木学会論文報告集，第 297 号，pp.99～111，1978.

2) Van Mier, J.G.M.: Fracture Process of Concrete, pp.69-80, CRC Press, 1997