

V-530

拘束を受けるコンクリートにおける乾燥収縮ひび割れの発生

長岡技術科学大学大学院 学生会員 青木優介
 同 上 周 怡
 長岡技術科学大学工学部 正会員 下村 匠

1. はじめに

構造部材中のコンクリートは、内部に埋設された鉄筋や隣接する部材により自由な乾燥収縮が拘束される。その結果コンクリートには引張応力が導入され、しばしばひび割れが発生する。牧角らは、外的に線拘束されたコンクリート供試体を用いて乾燥収縮ひび割れ試験を行い、貫通ひび割れが発生するときのコンクリートの断面平均応力が、引張強度の約0.6~0.8倍であることを報告している[1]。しかしながら、ひび割れ発生時の応力が静的な引張強度より小さくなる理由は、いまだ明らかではない。

乾燥収縮はコンクリートの水分の逸散に起因するため、供試体内部の水分分布が不均一となる乾燥過程においては収縮ひずみも一様ではなく、コンクリートは相互に拘束する。外的に拘束された供試体であってもこのような内部拘束を伴うことが、自己収縮と比較した場合の乾燥収縮の特徴である。本研究では、コンクリート中の応力の分布を評価することにより、部材の貫通ひび割れの発生を説明することを試みる。

2. 微細なひび割れによる応力緩和を考慮したコンクリートの構成則

乾燥収縮による内部拘束応力を、コンクリート中の水分移動解析と弾性応力解析に基づき評価した場合、水分分布が急勾配を描く表面近傍において、引張強度の数倍以上の引張応力が得られる[2]。このような過大な引張応力は現実的ではなく、実際には応力を緩和するメカニズムが存在すると考えられる。乾燥過程のコンクリートの表面付近において進行している現象に関し、以下の仮説を設ける。

- 1) 引張ひずみが小さい範囲ではコンクリートは弾性挙動をする。
- 2) 引張応力が引張強度に達したら、均一に分散する微細なひび割れが形成される。
- 3) 微細ひび割れが成長（開口、進展、連結、局在化）する。引張応力は引張強度以上には増加しない。
- 4) 微細ひび割れが十分成長すると、コンクリートはもはや引張応力を伝達できなくなる。
- 5) 微細ひび割れの局在化が巨視的ひび割れへと発展する。

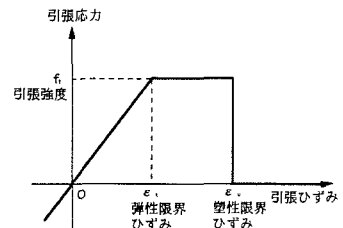
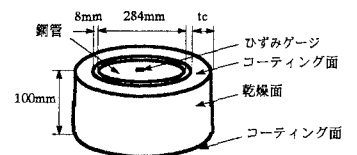


図-1 コンクリートの構成則

以上を単純化して表現するために、図-1示すコンクリートの応力-ひずみ関係を仮定する。微細なひび割れによる応力緩和を塑性により表現し、応力の解放を塑性限界ひずみにより表現した。現実には、微細なひび割れが徐々に局在化し、ひずみの分布は均一ではなくなると考えられる。しかし、乾燥収縮は部材表面近傍において平面的に一樣に進行する現象であるため、領域平均化した平均ひずみにより変形を記述することに十分利点があると考え、本研究ではコンクリートの変形は終始平均ひずみにより表現する。

3. 円筒供試体による拘束収縮ひび割れ実験

鋼管により収縮を拘束された中空円筒供試体（図-2）を用いて、コンクリートおよびモルタルの乾燥収縮ひび割れ実験を行った。実験結



供試体厚さtc：コンクリート50mm、モルタル25mm

図-2 円筒型拘束供試体

キーワード：乾燥収縮ひび割れ、応力緩和、微細ひび割れ、貫通ひび割れ

〒940-21 新潟県長岡市上富岡町 1603-1 TEL 0258-47-9603 FAX 0258-47-9600

果と解析結果との対照を理想的な条件下で行うことを意図し、乾燥過程におけるコンクリート中の水分、ひずみ、応力の状態が軸対称となる円筒供試体を採用した。コンクリートおよびモルタルの配合を表-1に示す。供試体は材齢7日まで封かん養生し、その後室温約25℃、相対湿度約70%の実験室内で乾燥させた。鋼管の円周方向のひずみの経時変化を計測した。

表-1 コンクリートとモルタルの配合

	W/C	W	C	L	S	G	SP
コンクリート	0.65	169	260	223	763	869	13.5
モルタル	0.65	249	383	328	1122	—	19.9

L: 石灰粉, SP: 高性能減水剤

4. 円筒供試体の応力解析

円筒供試体中の水分移動解析、応力解析を行った。供試体中の水分分布、自由収縮ひずみの分布の経時変化は著者らの提案した方法により解析した[3]。材料パラメータは、並行して行った角柱供試体の自由収縮試験の結果より同定した。応力解析には仮定した応力-ひずみ関係を用いた。弾性係数、引張強度は、圧縮強度の試験結果より推定した値を用い、塑性限界ひずみをパラメトリックに変化させて計算した。乾燥が進行し、塑性状態にある領域、応力が解放された領域が出現すると、応力解析において収束計算が必要になる。収束解が得られなくなった時点で計算を終了し、断面を貫通するひび割れが発生したと判断した。

コンクリート供試体の鋼管のひずみの実験値と計算値を図-3に示す。鋼管のひずみの最大値に着目すると、塑性限界ひずみを弾性限界ひずみの2.8倍としたときの計算結果が実験結果に最も近くなった。同様の検討を行った結果、モルタルでは2.0倍となった。今後広範な検討が必要であるが、本結果はモルタルはコンクリートよりもひび割れが局在化しやすいことを意味していると考えている。

鋼管のひずみの実験結果より同定した塑性限界ひずみを用いて、応力解析を行い、得られたコンクリート供試体内の応力分布の経時変化を図-4に示す。乾燥の進行にともない、表面より微細なひび割れによる応力緩和領域が形成され、内部に向かって進展する結果が得られている。

5. 貫通ひび割れ発生時の断面平均応力

供試体内の応力分布より、円周方向の断面平均応力を求め、その経時変化を示したのが図-5である。貫通ひび割れが発生すると判定されたときの断面平均応力は、コンクリート、モルタル供試体について、それぞれ引張強度の0.78倍、0.67倍となった。一軸拘束と軸対称拘束の違いはあるが、本結果は牧角らの実験結果[1]と一致する。応力緩和のメカニズムを適切に考慮することにより、応力解析に基づきコンクリート部材の乾燥収縮ひび割れの発生を予測することは可能であると思われる。

参考文献

- 1) 牧角龍憲, 太田俊昭: 外的に線拘束されたコンクリートの乾燥収縮ひびわれに関する基礎的研究, 土木学会論文集, No.378/V-6, pp.137-146, 1987.2
- 2) 永松静也, 佐藤嘉昭: コンクリートの乾燥収縮ひびわれ実験ならびに応力解析, セメント技術年報, No.37, pp.398-401, 1983
- 3) 下村 匠, 前川宏一: 微視的機構に基づくコンクリートの乾燥収縮モデル, 土木学会論文集, No.520/V-28, pp.35-45, 1995.8

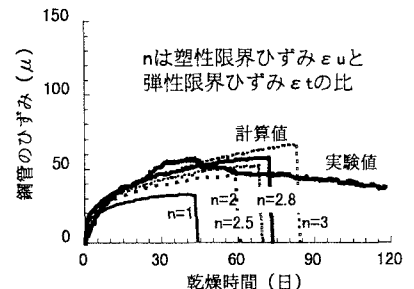


図-3 鋼管のひずみの経時変化
(コンクリート供試体)

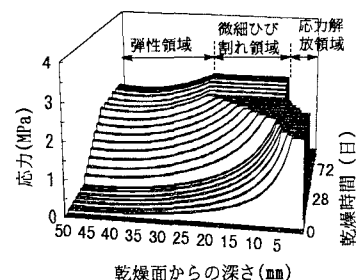


図-4 断面内の応力解析結果
(コンクリート供試体)

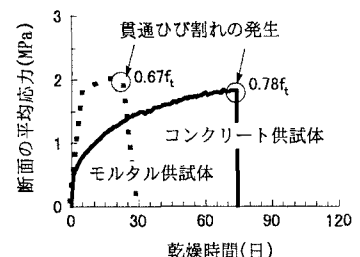


図-5 供試体の平均応力の経時変化