

レーザー変位測定とCT法によるコンクリートの引張軟化曲線測定法

東京工業大学大学院 学生員

高浜 達矢

東京工業大学大学院 学生員

木場 美子

東京工業大学大学院 フェロー会員

二羽 淳一郎

1. はじめに

コンクリート構造物の安全性を評価する際に、コンクリートの非線形挙動を考慮した破壊力学の適用が注目されている。破壊力学における重要な特性値として、引張軟化曲線と破壊エネルギーが挙げられる。これらの値は従来、RILEM[1]の推奨する3点曲げ試験により求められてきたが、RILEM法には(1)曲げと引張による違い、(2)はりの自重による仕事量の評価が難しく、ばらつきを与える要因となる、(3)破断面の大きさが供試体の大きさと比較して非常に小さい、などの問題点が指摘されている。そこで、本研究ではコンパクトテンション法(以下、CT法)を用いた直接引張試験によって、コンクリートの破壊エネルギーの測定を行い、引張軟化曲線を算出し、RILEM法から得られる結果と比較し、その適用性について検討を行った。また、開口部の変位をレーザー変位計を用いて測定することにより、容易かつ正確な開口変位測定を試みた。

2. 実験概要

図1および図2にRILEM法およびCT法の供試体の概要を示す。荷重方法は両試験とも変位制御とし、変位速度0.1(mm/min)で行った。配合はW/Cが0.5, 0.6, 0.7の3種類を用いた。測定項目はRILEM法が、荷重点変位、両支点変位、リガメント部のひび割れ幅とし、供試体変位は荷重点変位から、両支点変位の平均を引いたものとした。CT法については、図2におけるA点とB点の変位を測定し、その差を供試体の変位とした。開口変位の測定には、π型変位計と、レーザー変位計の2種類を用いた(図3)。レーザー変位計による測定原理を図4に示す。

これらの測定結果から得られた荷重 - 変位曲線下の面積(w_0)を台形近似によって求め、
 $G_F = (w_0 + mg \delta_0) / A_{lig}$ (ここで、 m は、RILEM法においては供試体全質量、CT法においては供試体の下半分の質量)に代入することで、破

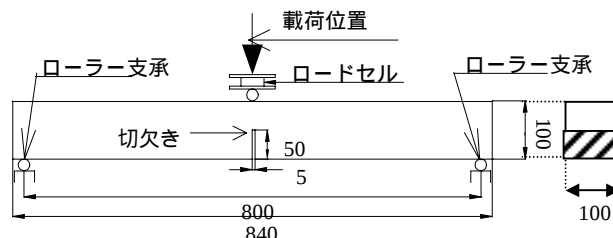


図1 RILEM法供試体概要図(mm)

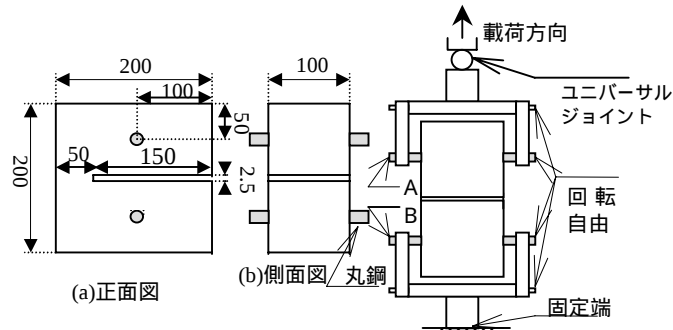


図2 CT法供試体概要図(mm) (c)荷重図

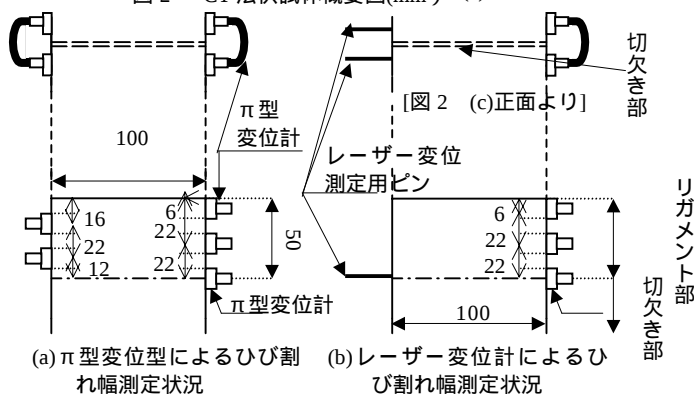


図3 供試体断面図



図4 レーザーによる開口変位測定の概要

キーワード：CT法、レーザー変位測定、破壊エネルギー、引張軟化曲線

連絡先：〒152-8552 東京都目黒区大岡山 2-12-1 TEL03-5734-2584 FAX03-5734-3577

壊エネルギーを求め、破壊エネルギーと開口変位の関係から、修正 J 積分法および拡張 J 積分法を用いて引張軟化曲線を算出した。

3. 実験結果

表 1 に CT 法および RILEM 法から得られる破壊エネルギーの平均値を示す。なお、RILEM 法から得られる値は比較的ばらつきが大きく、CT 法による値は変動の小さい傾向にあった。

次に図 5 に荷重 - 変位曲線の一例を示す。荷重 - 変位曲線下の面積 w_0 は、CT 法で $0.316(\text{N} \cdot \text{m})$ 、RILEM 法では $0.184(\text{N} \cdot \text{m})$ であった。RILEM 法では、自重が G_F に及ぼす影響が相対的に大きく、試験としてのばらつきが大きいものと考えられる。一方、CT 法は、その荷重 - 変位曲線がポストピークにおいて引張軟化曲線に近い形を示しており、直接引張試験に近い形で载荷が行われていることを示唆している。

CT 法におけるリガメント部のひび割れの進展および弾性エネルギーの解放を評価した結果、以下の関係が得られた。

$$a/a_0 = 1.0 + 0.048 \ln(w/w_{\max}) \quad 0.05 \leq w/w_{\max} < 1$$

$$\delta_p / \delta_{\max} = (\delta / \delta_{\max})^{1.21}$$

うここで、 a : ひび割れ進展長さ、 a_0 : ひび割れの最大進展長さ、 $w_{\max}$: 最大ひび割れ幅、 δ_p : 除荷時、荷重が 0 になったときの変位、 δ : 除荷直前の変位、 $\delta_{\max}$: 最大変位、である。

これらの式を用いて、図 5 の荷重 - 変位曲線を基に、図 6 に修正 J 積分法より求めた引張軟化曲線、図 7 に拡張 J 積分法より求めた引張軟化曲線を示す。図 7 で RILEM 法および CT 法により求めた引張軟化曲線は比較的良く一致していたが、図 6 においては若干の違いが確認された。これは、RILEM 法において、弾性変形成分が大きく影響していることを示している。CT 法においては、その弾性変形成分は小さいものの、その影響を考慮することで、より精度の高い引張軟化曲線が得られることが分かった。ひび割れ進展に関しては、CT 法はひび割れが急激に進展するため、この進展の推移を無視しても差し支えないほどであった。また、開口変位、応力を無次元化することで、引張軟化曲線は供試体形状に関係なく、よりよい一致を示した。

図 8 にレーザー変位計および π 型変位計による開口変位の測定結果を示す。レーザー変位計による測定値と、 π 型変位計による測定値の相関図から、その誤差を調べると約 6% の誤差が存在したが、コンクリートの不均一性や、供試体の同一面ではないことを考慮すると、測定値として十分であると考えられる。

4. 結論

(1) CT 法により求まる破壊エネルギー、引張軟化曲線は、RILEM 法と同程度の値を示す。(2) レーザー変位計による開口変位測定は容易かつ π 型変位計と比較しても同程度の精度のデータが得られる。(3) CT 法において、ひび割れ進展は無視しても差し支えないが、弾性エネルギーの解放は考慮する必要がある。

参考文献 1) 橋高義典, 上村克朗, 中村成春: コンクリートの引張軟化曲線の多直線近似解析, 日本建築学会構造系論文報告集, No.453, pp15-25, 1993.11

表 1 破壊エネルギー

W/C	圧縮強度 (MPa)	引張強度 (MPa)	$G_F(\text{N/m})$	
			RILEM 法	CT 法
0.5	36.3	3.54	—	147.7
0.6	26.8	2.65	80.7	75.1
0.7	16.9	1.90	76.1	90.5

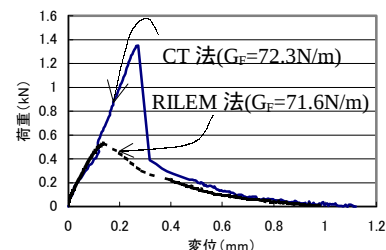


図 5 荷重 - 変位曲線

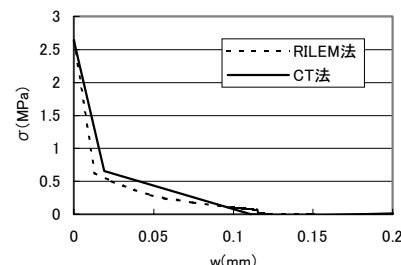


図 6 修正 J 積分法より求めた引張軟化曲線

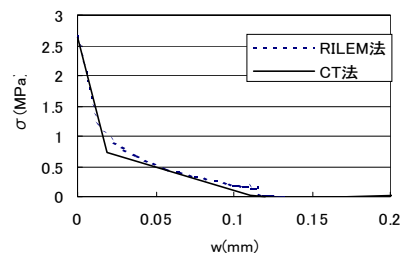


図 7 拡張 J 積分法より求めた引張軟化曲線

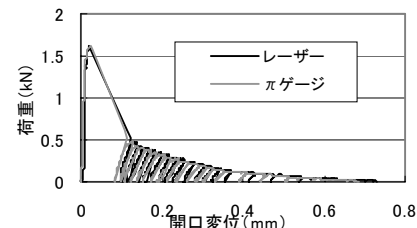


図 8 レーザー変位計と π 型変位計による開口変位