

V-230

鉄筋コンクリートはりの終局限界性能に影響を及ぼす諸要因

防衛大学校
九州大学正会員 高橋芳彦
九州大学 太田俊昭正会員 大野友則
日野伸一

1. はじめに

R C構造物の耐震安全性は、部材の有する最大耐力とともに塑性域での変形能力の大きさを評価できることが知られている。現行の耐震設計基準の中には、すでにその考え方が盛り込まれており、さらにR C部材の終局限界性能(靱性)に関する研究が盛んに行なわれている。しかしながら、構造物の塑性変形によるエネルギー吸収容量あるいは塑性変形能力の大きさそのものを明確にかつ定量的に評価できる方法は未だ確立されていない。このような観点から、鈴木ら¹⁾および小柳ら²⁾はR Cはりの終局限界点について考察を行なっている。本研究は、まず1)および2)で提案されている終局限界点の指標の一つを用いてR Cはりの終局限界状態までの曲げ解析を行ない、著者らが先に行なった実験結果³⁾と比較して、その妥当性を検討している。次に、コンクリートの①圧縮強度(f_c')、②最大応力以降の応力の下降勾配(E_c')、③鉄筋のひずみ硬化係数(E_{ph})、④複鉄筋比(A_s'/A_s)および⑤圧縮側かぶりコンクリート厚さ(d')がR C断面のエネルギー吸収容量(U)に及ぼす影響について調べている。また、数値シミュレーションから得られる結果に基づいて、 U が最大となる最適断面諸元について考察を加えている。

2. 解析方法および入力データ

本研究では、R C断面の曲げ解析で一般的によく用いられている切斷法に基づいて解析を行なっている。切斷法は、断面を任意数の層要素に分割しているので非線形なコンクリートの応力～ひずみ関係を用いても容易に圧縮合力が算定できる。また、曲率に対応する曲げモーメントが算定できるので最大モーメント以降の挙動も容易に追跡できる。解析に使用したコンクリートおよび鉄筋の応力～ひずみ関係は、それぞれ図-1および図-2に示すとおりである。なお、解析に用いた断面諸元などの入力データを表-1に示す。

3. 実験結果との比較

図-3に、実験³⁾による荷重～載荷点変位関係および解析結果を併せて示す。実験は、両端を単純支持した支間長180cmのR Cはりに対し中央集中荷重を行なっている。解析では、R Cはりの降伏変位以降に載荷点からそれぞれの支点方向に有効高さ d に相当する部分の長さ l に塑性域を生じ、また、その範囲における曲率の値は載荷点と同じ値で一様に分布していると仮定している。図から明らかなように、解析結果は実験結果に比べ荷重および終局変位量ともに小

表-1 入力データ

幅 b	31cm
有効高さ d	14cm
圧縮側かぶりコンクリート厚 d'	4cm
引張鉄筋 A_s	15cm ²
コンクリートの圧縮強度 f_c'	600kgf/cm ²
コンクリートの最大応力時のひずみ ϵ_{co}	0.002
コンクリートの応力下降勾配 E_c'	0.3
引張(圧縮)鉄筋の弾性係数 E_s	2.1x10 ⁶ kgf/cm ²
引張鉄筋のひずみ硬化開始ひずみ	0.015
引張(圧縮)鉄筋の破断(引張強度時)ひずみ	0.2
引張(圧縮)鉄筋のひずみ硬化係数 E_{ph}	0kgf/cm ² (完全弾塑性)

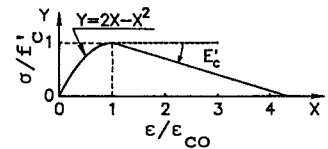
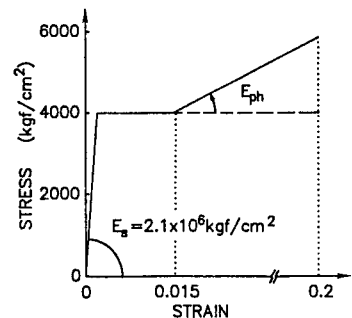
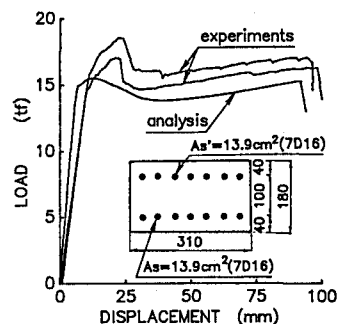
図-1 コンクリートの $\sigma \sim \epsilon$ 関係図-2 鉄筋の $\sigma \sim \epsilon$ 関係

図-3 荷重～変位関係

さいが、弾塑性挙動を比較的良好にシミュレートしているものとみなすことができる。なお、解析ではRCは降伏終了点（曲率が增大するにもかかわらず引張鉄筋の応力が減少を開始する時点）によって終局状態に至っている。また、実験結果および解析結果ともに最大モーメントを示す極値が存在する。これは高強度コンクリート（ $f_c' = 579 \text{ kgf/cm}^2$ ）を使用しているためである。

4. 材料特性などが終局限界性能に及ぼす影響

図-4～図-8に種々のパラメータとUの関係を示す。図中、●、▲、■印は降伏終了点で、○、△、□印は引張鉄筋の破断で終局曲率に達したことを表わす。図-4および図-5から明らかなように、降伏終了点で終局曲率に達する場合は f_c' および $1/E_c'$ の増大にともないUはほぼ線形的に増加する。また、その増加率は A_s'/A_s が大きいほど大きくなる。とくに $A_s'/A_s = 1.0$ の場合は、 f_c' および E_c' の大小にかかわらず引張鉄筋の破断で終局曲率に達するため、Uはほぼ一定の値となる。 E_{ph} をパラメータとした場合（図-6）は、 E_{ph} の増大にともないUは減少する。またその減少率は、 A_s'/A_s が大きいほど大きい。 $A_s'/A_s = 1.0$ の場合には、 E_{ph} が増大すると終局曲率に至る状態が引張鉄筋の破断から降伏終了点に移行する。

A_s'/A_s をパラメータとした場合（図-7）は、 A_s'/A_s の増大にともないUは増大する。その増加率は2次関数的で、とくに $A_s'/A_s = 0.6$ 付近からその増加率が大きくなる。 $A_s'/A_s = 1.0$ で d' をパラメータとした場合（図-8）、RCは引張鉄筋の破断によって終局曲率に達すると、Uは d' の大小にかかわらずほぼ一定の値を示す。一方、 $A_s'/A_s = 0.9$ 以下のときには降伏終了点で終局曲率に達し、この場合にはUは d' の増大にともないほぼ線形的に減少する。

5. Uが最大となるRC断面

以上の解析結果より、RCはりの断面幅、有効高さおよび引張鉄筋量が一定の条件で、Uを最大とするには、以下の要件が必要であることが考察される。① $A_s'/A_s = 1.0$ とする。② E_{ph} を小さくし、引張鉄筋の破断で終局曲率に達するようにする。③ 降伏終了点で終局曲率に至る場合は、 f_c' を大きくするかあるいは、 E_c' を小さくする。

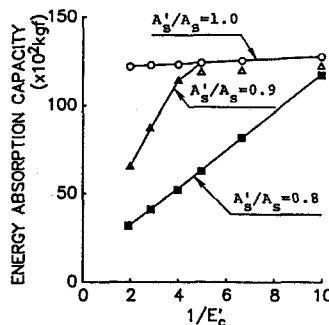


図-4 U～ f_c' 関係

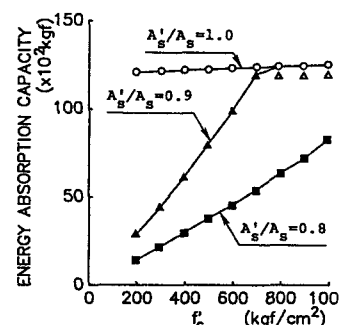


図-5 U～ $1/E_c'$ 関係

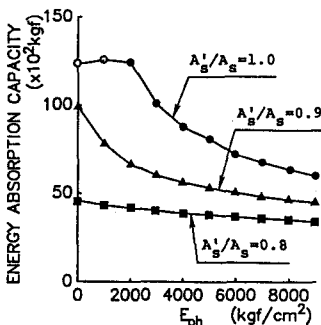


図-6 U～ E_{ph} 関係

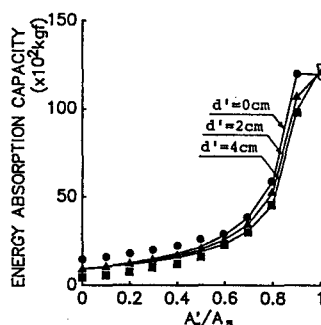


図-7 U～ A_s'/A_s 関係

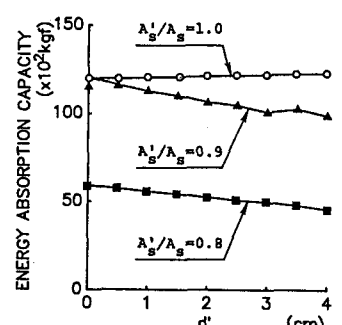


図-8 U～ d' 関係

- 1) 鈴木ら：コンクリートはり部材断面の曲げ終局限界点に関する研究（その1）各種終局域指標点と提案する曲げ限界点の存在メカニズム，日本建築学会構造系論文報告集，第383号，pp.49-56，昭和63年1月
2) 小柳ら：RCはりの曲げ破壊過程と曲げじん性に及ぼす材料特性の影響，土木学会論文集，第348号/V-1，pp.153-162，1984年8月 3) 高橋ら：高強度コンクリートを用いた鋼・コンクリート合成版型部材の静的弾塑性挙動と終局限界性能，構造工学論文集，Vol.35A，pp.1245-1258，1989年3月