

防衛大学校 学生員 ○辻本雅洋 正員 高橋芳彦
正員 大野友則 正員 内田 孝

1 まえがき

山岳地における落石防護施設に対する落石、橋脚に対するトラック等の衝突や海洋構造物に対する船舶の衝突などの場合には、構造物は非常に大きな衝撃荷重を受けて破壊に至ることが予想される。これに対し、衝撃荷重を受けるRC構造物の耐衝撃設計を確立するためには、RC部材の高速変形時の耐力を把握する必要がある。そこで、本研究では、コンクリートおよび鉄筋の応力～ひずみ関係に及ぼすひずみ速度の影響を考慮して部材の終局モーメントを算出し、これを用いて計算した降伏線理論による耐力と実験値を比較して、高速変形時の部材の耐力を予測する方法について検討したものである。

2 ひずみ速度効果を考慮したRCはり断面の終局モーメント

図1は、ひずみ速度効果を考慮したはり断面の終局モーメントを求める手順を示したものである。手順の概要

は以下の通りである。①はり中央に生じる塑性ヒンジの変位を δ とすると、曲率速度は $\dot{\phi} = 2\dot{\delta}/L = 8\dot{\delta}/L^2 = 8V/L^2$ で求まる。②断面を多くの要素に分割し、中立軸を仮定する。③要素ごとのひずみ、ひずみ速度は $\epsilon = \phi \cdot X$, $\dot{\epsilon} = \dot{\phi} \cdot X$ で求める。④圧縮域における応力とひずみの関係は、竹田¹⁾が提示したコンクリートの圧縮強度とひずみ速度の関係式、 $\sigma_c = \alpha + \beta \log(a \dot{\epsilon}) + \gamma (\log(a \dot{\epsilon}))^n$ および最大応力時のひずみとひずみ速度の関係式、 $\epsilon_{co} = \alpha_0 + \beta_0 \log \dot{\epsilon} + \gamma_0 (\log \dot{\epsilon})^n$ 。

(各係数はコンクリートの種類により決まる定数で表1に示した)にひずみ速度効果を考慮した図2(a)に示すパラボラ・直線式 $\sigma_c \sim \epsilon_c$ 曲線から算出する。⑤引張り域における応力とひずみの関係は、ひずみ速度の影響による鉄筋の降伏点の変化を調べたACIの実験報告²⁾に基づいて、近似式 $\sigma_{sy} = \sigma_{sy} 10^{0.11 \log \dot{\epsilon} + b1 + c1}$ を定式化し、ひずみ速度に対応する降伏応力を求めた。なお、本研究では、鉄筋のヤング係数、ひずみ硬化、破断ひずみはひずみ速度の影響を受けないものとし、図2(b)に示した $\sigma_s \sim \epsilon_s$ 近似曲線より鉄筋の応力を求めた。(係数、および計算に用いた数値を表1に示す)⑥断面における力の釣合より中立軸を決定する。⑦コンクリートの終局ひずみは、曲げせん断およびせん断補強筋による終局ひずみの増加を考慮し

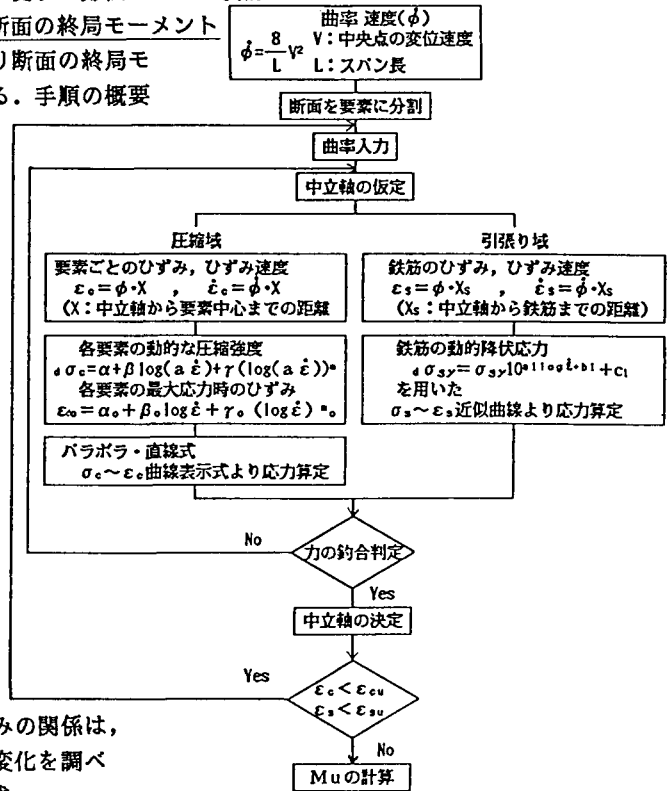


図1 終局モーメントの算定手順

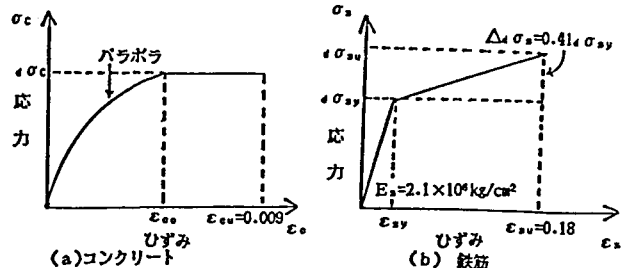


図2 コンクリートおよび鉄筋の応力～ひずみ近似曲線

たCorleyの提案式³⁾に基づいて算出した。

3 RCはりおよびRC床版の高速載荷試験

(1) 載荷装置 RCはりの載荷試験に使用した装置は、多連式油圧ポンプによる中速載荷装置（最大荷重30t、最大載荷速度60cm/sec）である。RC床版の場合は高剛性システムによる高速度載荷装置（最大荷重50t、最大載荷速度400 cm/sec）を用いた。載荷方法は、いずれも載荷体を試験体に接触させた状態から、急激にアクチュエータを変位させ、強制的に高速変形させるものである。

(2) RCはり RCはり試験体は、図3(a)に示す鉄筋比0.52%、0.94%、1.47%、スパン長160cmの単鉄筋コンクリートはりである。試験体は、両端単純支持で、中央一線に載荷した。載荷速度は0.05cm/secおよび60cm/secである。

(3) RC床版 床版試験体は、図3(b)に示す正方形単鉄筋コンクリート床版である。試験は、スパン長1mの四辺単純支持とし、15cm×15cmの載荷板を介して中央に載荷する。

4 実験結果および考察

表2は、はりの実験から得られた終局耐力 P_{ex} および2で述べた手法と降伏線理論を用いて求めた耐力 P_{cl} を示したものである。（）内の数値は、載荷速度による耐力の上昇率を示している。実験値および解析値とも、上昇率は20%前後で解析結果は実験値に良く一致しているとみなせる。また、各載荷速度での実験値と解析値の差は6%以内となっている。図4は、載荷速度に対するRCはりの終局耐力の変化を示したものである。曲線が解析結果、●が実験値である。解析結果は、載荷速度の影響による耐力の上昇を良く表している。RCはりについては、さらにコンクリートの終局ひずみに及ぼすひずみ速度の影響等を考慮する必要があるが、本研究で提示した手法によって高速変形時の耐力を予測することが可能であると考えられる。なお、床版については現在実験継続中であり結果の詳細は講演会当日に発表する。

細は講演
会当日に
発表する。

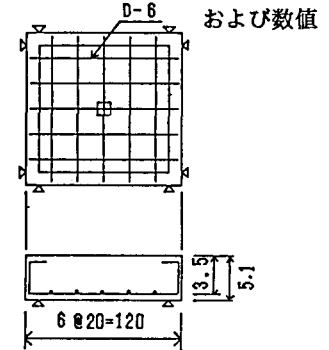
鉄筋比 (%)	載荷速度 (cm/s)	P_{ex} (t)	P_{cl} (t)	P_{ex}/P_{cl}
0.52	0.05	2.8	2.9	0.97
	60.0	3.7 (32%)	3.5 (21%)	1.06
0.94	0.05	4.9	4.7	1.04
	60.0	5.8 (19%)	5.6 (19%)	1.04
1.47	0.05	7.1	6.8	1.04
	60.0	8.6 (21%)	8.1 (19%)	1.06

(P_{ex} : 実験値, P_{cl} : 計算値)

表2 RCはりの耐力の実験値および解析結果 図4 RCはりの載荷速度と耐力の関係

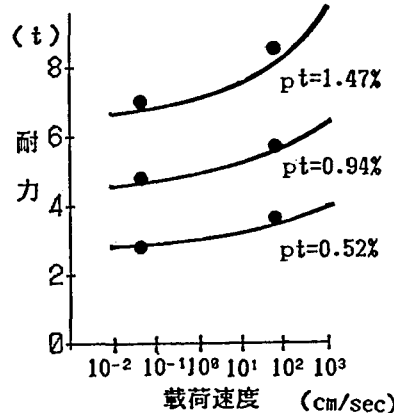
α	308	α_0	1740
β	4.8	β_0	15.0
γ	0.2	γ_0	0.14
m	4.1	m_0	4.1
a	0.14	ε_{cu}	0.009
a_1	0.1524	σ_{sy}	3760kg/cm ²
b_1	-1.339	σ_{su}	5290kg/cm ²
c_1	0.935	ε_{su}	0.18
E_s	2.1×10^6 kg/cm ²		

表1 計算に用いた式の係数



(a) RCはり (b) RC床版 (単位 cm)

図3 RCはりおよびRC床版の配筋



載荷速度 (cm/sec)

- 1) 竹田, 立川: 高速圧縮荷重を受けるコンクリートの力学的性質とその基本的関係式, 建論78号, 昭. 37. 10.
- 2) ACI Committee 439: Effect of Steel Strength and of Reinforcement Ratio on the Mode of Failure and Strain Energy Capacity of Reinforced Concrete Beams, ACI Journal, pp. 165-172, 1969.
- 3) Corley W.: Rotational Capacity of Reinforced Concrete Beams, Proc. of ASCE, Vol. 92, ST5, Oct. 1966.
- 4) 山田, 辻本, 内田: 鉄筋コンクリートはりの耐衝撃限界性能, 第14回土木学会関東支部講演概要集, 昭. 62.