

補強された既設 RC 桁の終局耐力に関する解析的研究

九州大学 学生会員 村戸 伸行 九州大学 正会員 園田 佳巨
 構造技術センター(株) 正会員 劉 貴位 九州大学 正会員 彦坂 熙

1. 緒言

近年、構造物のライフサイクルにおけるトータルコストをできるだけ小さくすることに対する重要性が大きくなり、構造物の余剰耐力の評価を正確に行う手法の確立が望まれている。

本研究では、そのための基礎的な考察段階として、損傷力学等の手法を用いて、長年月にわたり供用された既設 RC 桁の終局耐力について解析を行った。

2. 解析手法の概要

本研究では、材料内部に生じる損傷の発生・進展を評価する一手法である損傷力学の概念を取り入れた 3 次元弾塑性解析プログラムを作成し、既設 RC 桁の終局耐力について解析を行った。

2.1 損傷力学の導入

コンクリート構造部材内部の相当ひずみ¹⁾を、圧縮強度と引張強度の相違を考慮した以下の式(1)により評価することで、部材内部の損傷を式(2)で示される負荷関数を満足するときに発生もしくは進展するものとした。

$$\varepsilon_{eq} = \frac{k-1}{2k(1-2\nu)} J_1 + \frac{1}{2k} \sqrt{\left(\frac{k-1}{1-2\nu} J_1\right)^2 + \frac{6k}{(1+\nu)^2} 2J_2} \quad (1)$$

$$f(\varepsilon_{eq}, \kappa) = \varepsilon_{eq} - \kappa_i = 0 \quad (2)$$

ここに、 J_1 、 J_2 ：それぞれ偏差ひずみの 1 次、2 次不変量、 k ：圧縮強度と引張強度の比、 κ_i ：損傷進展条件パラメータ（無損傷時：損傷開始時の相当ひずみ、損傷進展時：過去の最大相当ひずみ）

式(1)の第 1 項と第 2 項は、それぞれ静水圧応力と偏差応力の影響を評価したもので、 $k=1$ とおけば式(1)と

(2)は、ミーゼスの降伏条件に帰着することから、鉄筋要素に対しても同じ式を適用した。また、部材内部に生じる損傷度を表すスカラー変数 D は、以下の式(3)を用いて評価した。

$$D = 1 - \frac{\kappa_0}{\kappa} \left[(1-\alpha) + \alpha e^{-\beta(\kappa-\kappa_0)} \right] \quad (3)$$

ここに、 α 、 β は材料定数で、 κ_0 は損傷発生時の相当ひずみの値である。式(3)で求めた損傷変数 D を用いて、構造部材内の損傷の進展にともなう剛性低下を、以下の式により評価した。

$$\sigma_{ij} = (1-D) E_{ijkl} \varepsilon_{kl} \quad (4)$$

σ_{ij} ：応力テンソル、 ε_{kl} ：ひずみテンソル、 E_{ijkl} ：ヤング率、 D ：損傷変数、

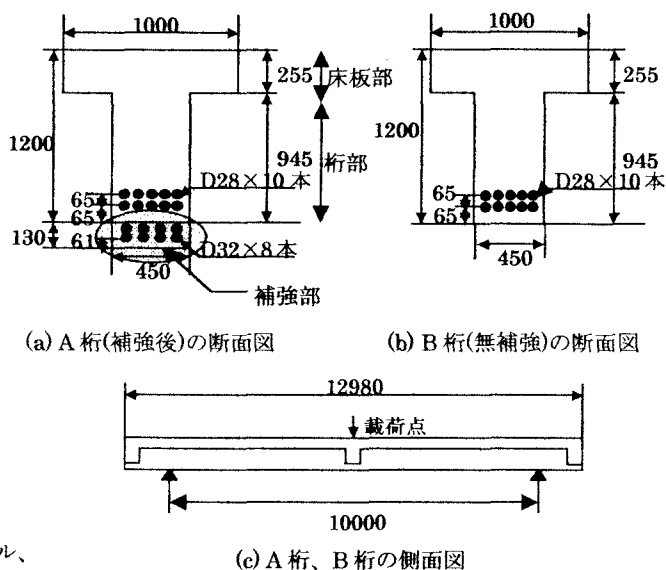


図-1 既設 RC 桁解析モデル (単位 mm)

2.2 既設 RC 桁の損傷解析

ここでは、既設 RC 桁を三次元ソリッド要素で離散化し、弾塑性増分解析の各ステップで、各要素の積分点毎に求めた相当ひずみをもとに、式(3)を用いて損傷度の評価を行い、得られた損傷変数を次ステップの構成式(4)に用いることで、損傷の進展を考慮した。

3. 解析結果および考察

3.1 解析モデル

解析モデルは、図-1のような構造寸法の既設 RC 桁で、補強されたものを A 桁、無補強のものを B 桁とした。荷重条件は支間中央に一定の増分荷重を与えながら解析を行った。なお、材料のヤング係数および強度は、材料試験の応力-ひずみ関係を用いて、式(3) に用いるコンクリートと鉄筋それぞれの材料定数 α 、 β 、 κ_0 を決定した。計算に用いた材料定数を表-1に示す。

表-1 材料定数

	コンクリート		補強部	鉄筋	
	床板部	桁部	モルタル	既設部	補強部
E : ヤング係数 (kgf/cm ²)	2.6×10^5	1.3×10^5	1.6×10^5	2.1×10^6	2.1×10^6
ν : ポアソン比	0.20	0.20	0.20	0.29	0.29
α : 材料定数	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96
β : 材料定数	100	100	2000	3000	3000
κ_0 : の初期値	2.5×10^{-5}	3.5×10^{-5}	1.0×10^{-4}	6.5×10^{-4}	9.5×10^{-4}
圧縮強度 (kgf/cm ²)	400	230	650	4100	5200
圧縮・引張強度比	15	15	10	1	1

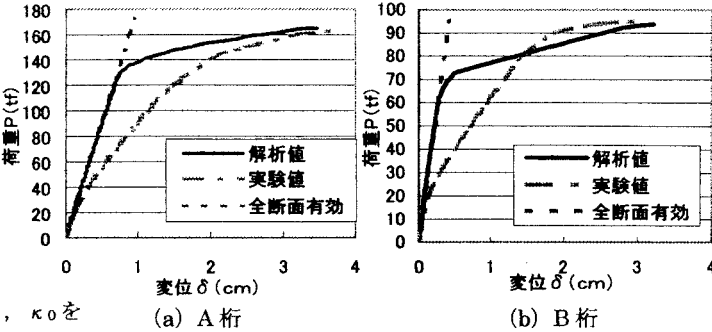


図-2 既設 RC 桁の荷重-変位関係

3.2 数値計算結果および考察

図-2は、本手法で求めた既設 RC 桁の荷重-変位関係を、表-2は終局耐力を比較した結果を示す。これらの図表より、終局耐力については実験結果とほぼ等しい値を得ることができ、補強効果についても約 60%の終局耐力の相違として認められた。しかし弾性域および初期降伏域の荷重-変位関係については大きな相違が見られる。この原因として、既設 RC 桁の材料特性が正確に評価されていないことや実験時の境界条件が解析モデルにおいて再現されていないことなどが考えられる。本解析モデルは、終局荷重の 7,8 割までは全断面を有効とした梁の解析値と変位が一致し、その後曲げ剛性の低下が著しく進展する傾向が認められる。図-3は、終局時の損傷状況を表す損傷変数の分布を示したものである。今回の解析では、A 桁、B 桁ともに曲げ引張領域で損傷が進展する結果が得られたが、詳細な破壊メカニズムについては今後さらに検討を行う予定である。

表-2 終局耐力の比較 (tf)

	実験値	解析値
A 桁	162.0	164.8
B 桁	94.0	100.5

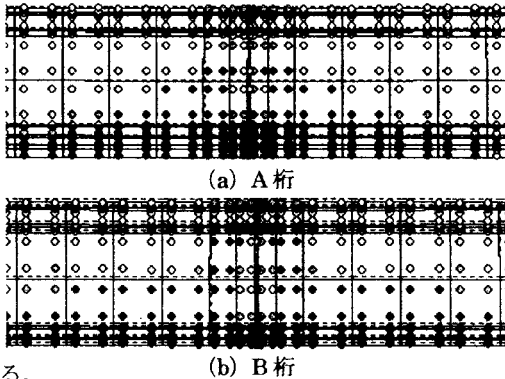


図-3 終局時の損傷進展状況

本研究で用いた既設 RC 桁の破壊実験データは、国土交通省福岡国道工事事務所の協力により KABSE の「既設コンクリート道路橋の調査・診断方法に関する研究分科会」の研究活動に得られたものである。ここに記して謝意を表する。

参考文献 1) M.G.D.Geers et.al:Damage and crack modeling in single-edge and double-edge notched concrete beams, Engineering Fracture mechanics65,pp.247-261,2000