

第 部門 曲げ耐荷力実験による PC 梁の各強度限界の統計的特性とこれら強度限界の非超過確率に関する基礎的研究

大阪市立大学工学部 学生員 中林 儀光 大阪市立大学大学院工学研究科 正会員 山口 隆司
 大阪市立大学大学院工学研究科 正会員 松村 政秀 大阪市立大学大学院工学研究科 正会員 北田 俊行

1. 研究背景とその目的

近年、合理的かつ経済的な橋梁を建設するために複合構造システムが採用されており、構造物間、構造物材料間、および国間において、設計法が整合・統一されつつある。すなわち、国際基準規格であるISO2394¹⁾に従った限界状態設計法に基づく、安全性の明確化が要求されている。ISO2394¹⁾、土木学会コンクリート標準示方書²⁾AASHTO LRFD³⁾、Eurocode⁴⁾によると、性能照査設計法へ向け、近年の構造物の持つべき要求性能は、安全性、使用性、復旧性、耐震性、維持管理性など、細かく定義されてきており、それに対応して、設計の自由度が向上している。本研究では、複合部材の1つである、PC部材の曲げ破壊実験によって得られた使用限界状態、終局限界状態における限界超過確率 P_f および信頼性指標を基にして、PC梁の曲げ耐荷力の信頼性を評価する。なお、実験では、PC梁の使用限界をひび割れ発生時、終局限界を破壊時と定義している。

2. 供試体の設計

図-1に示すPC梁の供試体を表-1に示す部材を用いて9体製作した。設計は、終局時において、コンクリートの圧壊が先行するように材料を選択した。コンクリート、鉄筋、およびPC鋼棒の応力-ひずみ関係は、表-1の材料強度を用いて、道路橋示方書 コンクリート橋編⁵⁾に従ってモデル化し、終局曲げモーメントを算定している。コンクリートの引張強度を設計圧縮強度の10分の1 (3.06 N/mm^2)とし、引張側の応力が引張強度に達すると、ひび割れが発生すると仮定した。また、曲げ破壊試験のため、せん断破壊が起こらないように、コンクリート標準示方書²⁾に従いせん断補強鉄筋間隔を53mmとした。表-2には、各種限界状態の設計曲げモーメントを示している。

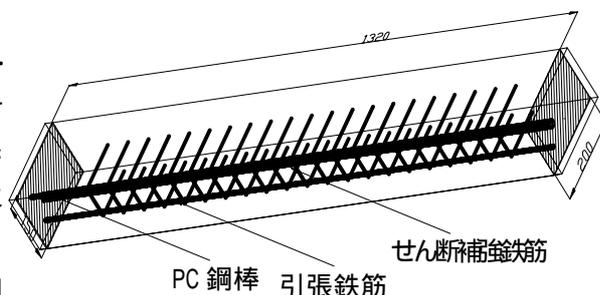


図-1 供試体の形状

表-1 各種部材の種類

種類	PC鋼材	引張鉄筋	せん断補強筋
名前	B種2号	D10	D10
断面積(mm ²)	227	142.7	142.7
直径(mm)	17	9.53	9.53
降伏点(N/mm ²)	930	295	295
コンクリートの設計圧縮強度(N/mm ²)			
36			

プレストレスはポストテンション方式で導入し、プレストレス導入量を100kNとし、クリープなどの影響を考慮し、プレストレス有効率を85%と仮定した。

3. 実験結果

すべての供試体は、PC鋼棒が降伏せず、圧縮側のコンクリートの圧壊で終局限界状態に達した。なお、プレストレス減少量の平均値は8%であった。

表-3に実験で得られた9体の供試体の各種限界の曲げモーメントの統計的特性を示す。図-2には、供試体中央部のコンクリート圧縮縁に貼り付けたひずみゲージから得られた曲げモーメントとひずみとの関係、および材料試験から得られた材料定数を使用して求めた計算結果を示す。

表-2 各種限界状態の設計曲げモーメント(kN・m)

終局曲げモーメント	18.90
ひび割れ発生曲げモーメント	8.44
引張応力発生曲げモーメント	5.38
鉄筋降伏時曲げモーメント	18.80

表-3 各種限界曲げモーメントの統計量(kN・m)

	平均 E(x)	分散 V(x)	標準偏差 s	変動係数
終局曲げモーメント	27.70	2.096	1.448	0.052
ひび割れ発生曲げモーメント	10.15	0.084	0.289	0.028
引張応力発生曲げモーメント	8.38	1.221	1.105	0.132
鉄筋降伏時曲げモーメント	21.40	0.121	0.347	0.016

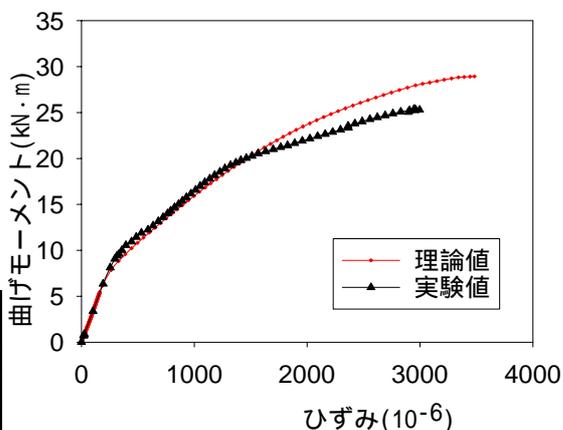
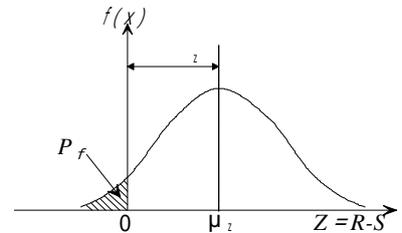


図-2 曲げモーメントとひずみの関係

4. 信頼性理論による安全性評価

限界超過確率を表す指標の一つである信頼性指標 β は、式(1)で表される。破壊確率 P_f は、図-3の $Z=(R-S)<0$ を用いて、式(2)で表される。

$$\beta = \frac{\mu_R - \mu_S}{\sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_S^2}} \quad (1) \quad P_f = \int_{-\infty}^0 f(x) dx \quad (2)$$



μ_R : 抵抗の平均値, μ_S : 荷重の平均値, σ_R : 抵抗の標準偏差, σ_S : 荷重の標準偏差
 荷重が変動しないと仮定した場合の信頼性指標 β は、終局曲げモーメントに対して、6.08, ひび割れ発生曲げモーメントに対して、3.52 となった。荷重の変動を考慮した場合は、荷重の確率密度分布は、文献(阪神高速道路公団：阪神高速道路の設計荷重体系に関する調査研究報告書)に基づき、 $\sigma_S / \mu_S = 0.1220$ と仮定し、荷重と抵抗のばらつきを正規分布と仮定した。この時の R と S の分布状況を図-4 に示す。

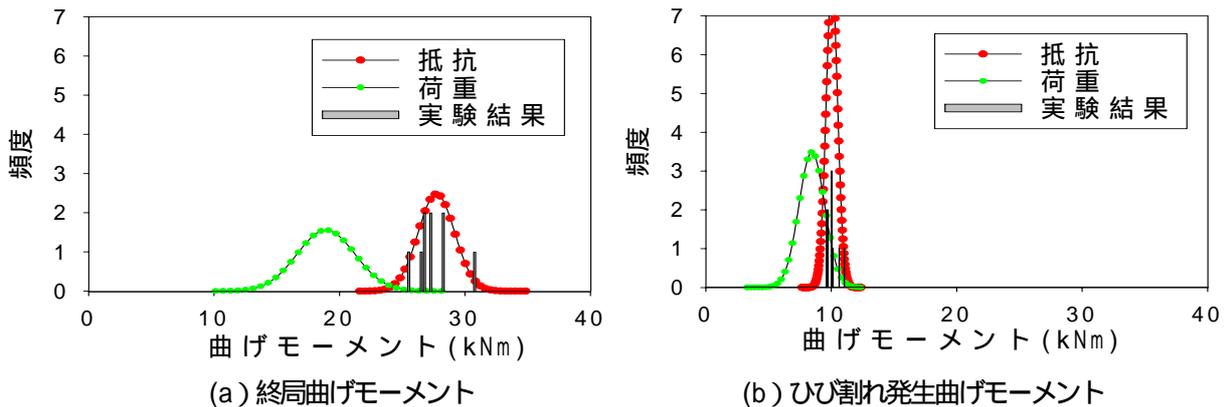


図-4 荷重と抵抗を正規分布と仮定した確率密度関数

Eurocode⁴⁾による信頼性指標 β の目標値と比較すると、表-4 に示すように荷重の変動がない場合の信頼性指標 β は、目標値を上回るが、荷重が変動する場合は、目標値を下回る。また、ひび割れ発生時の信頼性指標 β は、やや小さい値になったが、表-4 で示す変動係数は、ひび割れ発生曲げモーメント時の方が終局曲げモーメントばらつきは少ないといえる。

表-4 信頼性指標 β の目標値との比較

	荷重の変動なし	荷重の変動あり	目標値	抵抗の変動係数
終局曲げモーメント	6.08	3.23	3.8	0.052
ひび割れ発生曲げモーメント	3.52	1.42	1.5	0.028

5. H形鋼梁, RC 梁との比較

2002 年度, 山口らによって, 行われた研究の文献⁵⁾より, H形鋼梁, RC梁との終局限界状態における信頼性指標 β , および変動係数 δ を比較し, その結果を表-5 に示す。表-5 において, 鋼部材とコンクリート部材を比較すると 鋼部材の信頼性指標 β は高く, また変動係数 δ も小さい。また, RC梁とPC梁との変動係数 δ の値は, ほぼ同じになり, 終局時の曲げモーメントのばらつきも同程度となった。

表-5 H形鋼梁, RC 梁, および PC 梁の終局限界状態における信頼性指標 β , 変動係数 δ

	荷重の変動がない場合の信頼性指標 β	抵抗の変動係数 δ
H形鋼梁	11.3	0.0241
RC梁	8.63	0.0501
PC梁	6.06	0.0523

6. まとめ

- 1) 図-4 より, 9 体の実験結果からでは, 正規分布に仮定できるかどうかは判断しにくくもう少し供試体の数が必要である。
- 2) 図-4 より, PC 梁のひび割れ発生曲げモーメントのばらつきは少ない。
- 3) 終局時の RC 梁および PC 梁との変動係数 δ を比較すると, それぞれ 0.0501, および 0.0523 であることから, コンクリート部材の終局時の曲げモーメント値のばらつきは, 本実験からは, ほぼ同じであるといえる。

<参考文献>1)ISO : ISO2394, General principles on reliability for structures, 1998 2)土木学会：コンクリート標準示方書・構造性能照査編, 丸善, 2002 3)AASHTO : LRFD BRIDGE DESIGN SPECIFICATION, 1998 SI Unit Second Edition. 4)CEN : Eurocode, prEN1990 Basis of structural design. 5)日本道路協会：道路橋示方書・同解説, コンクリート橋編, 丸善, 2002. 6)山口 隆司：活荷重シミュレーションによる鋼橋およびRC橋の信頼性指標を用いた曲げ強度評価についての基礎的研究 構造工学論文集, Vol.50A/2004.3