

京都大学工学部 正負 エ博 岡田 清
エ修 〇小柳 治

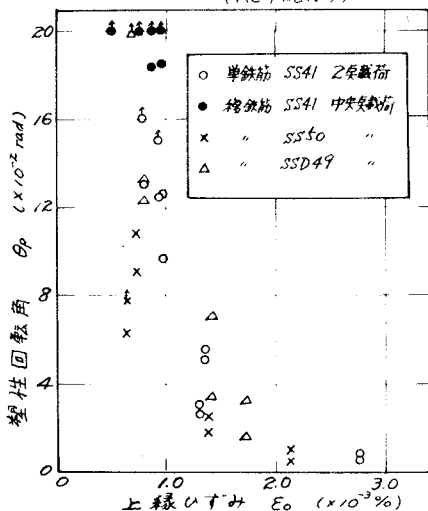
§ 1. まえがき

コンクリート部材の設計においては部材の載荷応答を非弾性範囲まで拡張しその破壊強度を基準とする塑性設計理論が次第にとり入れられつつあるが、これをさらに構造体としての破壊強度まで拡張し塑性ヒンジの生成を加味したコンクリート不確定構造の設計方法と模倣することについては未だ種々の問題点が残っている。すなわち構造体の挙動からは、限界断面、塑性曲率、塑性ヒンジの生成度、反復載荷をかけた場合の塑性ヒンジの位置は不明である。また、一般に設計上は変形限度の規定、破壊安全率（あるいは荷重係数）のセリオが問題となる。

ここにコンクリート構造にたいする塑性設計理論の適用性と検討するたけはり構造に就いて行なうた一連の実験から上記の問題の中で構造体の挙動に就いて得られた結論および問題点について述べる。

実験結果は約100本の単鉄筋および複鉄筋単純はりならびに約50本の複鉄筋連設はりから求められたものであり、含まれる変量は下記のとうりである。

図-1 $\theta_p \sim \epsilon_o$ 関係
(RC単純はり)



- (a) コンクリート強度 ($\sigma_{cu} = 120 \sim 430 \text{ kg/cm}^2$)
- (b) 鉄筋比 ($P_t = 0.44 \sim 3.11\%$, $A'_s/A_s = 0 \sim 3$)
- (c) 鉄筋強度 (SS41, SS49, SSD49, PC鋼棒)
- (d) プレストレス導入量 (平均プレストレン力 $15 \sim 60 \text{ kg/cm}^2$)
- (e) 載荷方法 (中央点載荷, 2点載荷)

なはり断面およびスパンは $10 \times 20 \times 200 \text{ cm}$ を標準とする。

§ 2. 塑性回転能

塑性設計によれば弾性理論で与えられる構造強度 P_t よりも構造破壊強度 P_u が大きくなるが、この附加的な強度増加量の $(P_u - P_t)$ は、RCまたはPCの完全弾塑性材料で与えられた理論値と必ずしも一致せず、限界断面の変形能力に依存している。限界断面の変形能力は塑性曲率あるいはその塑性ヒンジ区間にあたる種分値の塑性回転で与えられる。一般にコンクリート部材では限界断面およびおれの矢に集中するため塑性曲率による表しは困難であり、塑性回転量を表すのがよい。

塑性ヒンジとしては鉄筋の降伏により生ずるスチールヒンジのみを考え、コンクリートの鉄筋の降伏のまゝに圧縮する場合は塑性回転は生じないものと仮定してよいであろう。これより塑性設計が適用し得る限界鉄筋比が定まる。すなわち単鉄筋矩形はりの場合、破壊時の中立軸比を η とすれば、この限界鉄筋比は $\eta \sigma_{sy} / \sigma_{cu} < \rho < \eta \sigma_{cu} / \sigma_{sy}$ で表わされる。この範囲内の塑性回転能 θ_p は一般に鉄筋指数 $\rho = (\rho_t \sigma_{sy} / \sigma_{cu}) - (\rho_c \rho_t \sigma_{sy} / \sigma_{cu})$ によってその傾向は推定される。 θ_p は ρ の増加（鉄筋比 ρ_t の増加、鉄筋降伏点強度 σ_{sy} の増加、コンクリート強度 σ_{cu} の減少）につれて減少する。しかしながら θ_p は同一 ρ

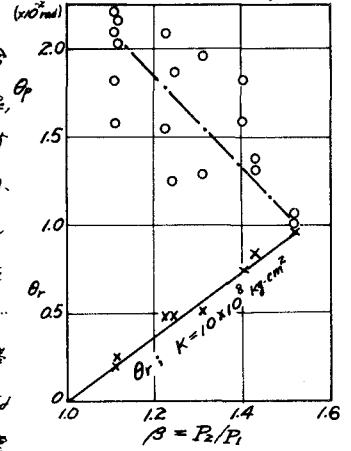
をとっても鉄筋比、鉄筋配置の相違により異なるため、 ϕ_p のばらつきを考慮してもそのみから ϕ_p を規定することは不可能である。このため ϕ_p を ϕ_p あるいは鉄筋降伏時の上縁コンクリートひずみ ε_o などに関連づける方法が考えられる。図-1はRCはり実験による実測塑性回転能 ϕ_p と上記 ε_o との関係を示したものである。 ϕ_p の実験値の求め方も同様であるが、ここでは塑性たわみ ϕ_p からヒンジ区間の全回転量として $4\phi_p/l-a$ （ここに l :スパン長、 a :載荷点間隔）から求められている。

ϕ_p の理論値はひずみ分布の直線性を仮定すれば $\phi_p = 1/a \times \{ (E_{cu}/m_u) - (E_{sy}/1-n_o) \}$ とヒンジ区間にわたり積分すれば求まるが、 E_{cu} および塑性ヒンジ長を求める事が問題となる。ここに、 E_{cu} はコンクリートの終局ひずみ、 m_u, n_o は各々破壊時のうちに鉄筋降伏時の中立軸比である。

§3. 塑性ヒンジ生成限

はり構造において10以上の塑性ヒンジを生成して機構となる場合を考える。塑性ヒンジ生成限は第1限界断面の塑性回転能 $\phi_p = f(R_p, R_s, l_u, \text{etc.})$ に大きく影響されるがさらに、第2限界断面にヒンジが生成するまでの第1断面の回転量（必要回転角 θ_r と名付ける）と ϕ_p との大小によって定まる。すなわち ϕ_p が θ_r より大きければ塑性ヒンジが生成するが $\phi_p < \theta_r$ ならば不完全となる。 θ_r はスパン連続はり为例にとれば、 $P = P_1$ にて第1ヒンジが生成し、 $P = P_2$ にて第2ヒンジが生成するものとすれば、 $P = P_1$ 以降は両スパンが単純はりとして挙動するものと仮定して支支のたわみ角より求めることとできる。すなわち両スパン中央載荷であれば $\theta_r = (R_2 - R_1)l^2/8K$ 。K=EIは実際の荷重状態から定めればよいが、Kを大きく一かえれば初期曲が剛性一とすると θ_r を過小評価し危険例となるため注意を要する。PCはりではRCはりに比してKがかなり大きいため ϕ_p が小さくてもヒンジ生成が可能である。図-2はPCはりの実験による ϕ_p と付加荷重増分率 $\beta = R_2/R_1$ との関係を示し、 θ_r を $K=10^9 \text{ kg/cm}^2$ と仮定して記入する。 β の増加につれて θ_r が増大し ϕ_p が低下するため塑性ヒンジ生成度が β によって規定される。

図-2 $\phi_p, \theta_r \sim \beta$ 関係 (PC連続はり)



なお以上の論議はすべてはりがせん断破壊しないことを前提としており実際の設計にはこれを十分考慮せねばならない。

§4. 塑性ヒンジの安定性

荷重増率から極限荷重に近い大荷重を数回反覆して行う場合に、生成した塑性ヒンジが反覆回数とともに不安定となり破壊にいたることが考えられる。PC単純はりに関する実験結果を荷重上限と終局荷重の比 P_u/P_d と、初期たわみの全たわみに対する比との関係を図-3に示す。PCはりでは P_u/P_d が10回程度の反覆載荷に対して安定であり、 $P_u > 0.95 P_d$ では不安定になる傾向にある。連続はりでは算定破壊荷重の95%以上の場合でも不安定であった。

