

V-124 終局強度設計法によるRCセグメントの曲げ耐力の算定について

(株) 間組 技術研究所 正員 中内博司
 ” ” 吉川弘道
 ” ” 左野 昭

1. まえがき シールドトンネルに用いられるコンクリート系セグメントは、地山内における応力状態は、関係なく曲げモーメント下における単体セグメントの終局曲げ耐力が規定され、強度試験により定期的に確認することが通例となっている。しかし、断面算定にあたっては、材料の線形性と弾性理論に立脚した許容応力度設計法を用いているため、要求される終局曲げ耐力を明確に推定し得ないのが現状と言える。例えば下水道用標準セグメントによれば、終局モーメントは引張鉄筋が許容応力度に達する抵抗モーメントの2.5倍以上となるように規定されているが、この規定値に対する明かな理論的根拠は見当らず、過去の試験結果の実績に基づいている。そこで欧米での示方書と導入されている我国の終局強度設計法に基づいて降伏および終局曲げモーメントを算出し、34例の試験結果と対応させることにより、合理的な断面算定法について考察した。また、各々に異なる材料強度、断面諸元、鉄筋量による試験結果も、曲げモーメントの無次元量 m と力学的鉄筋比 w を用いることにより統一的に表現した。

2. 試験概要 本文で用いた試験結果は、当社で製作・試験した部材寸法の異なる10種類、合計34のRCセグメントによるもので、その主要断面寸法と材料強度を表-1に記した。試験方法は図-1に示すような2点荷重、自由支承によるもので、測定項目は荷重点間のコンクリートの縁ひずみ、主要点の変位量とし、2～3サイクルの載荷荷重後、最終荷重を確認した。ひびわれの発生と進展のパターン、終局時の破壊モードなどはせん断スパンを充分にとった通例のRCはりの単体曲げ試験と同質のものである。

3. 曲げ耐力の算定 これまでに発表されているRCはりに関する終局強度理論やこれに伴う設計手法はそれぞれの特徴があるが、現在では次のような仮定条件のもとにほぼ合意されていると言われている。

- ① 平面保持の法則が成立する。
- ② 引張域コンクリートの抵抗力を無視する。
- ③ 材料の応力-ひずみ曲線の非線形性を考慮する。
- ④ 材料が終局ひずみを有し、部材の終局状態の条件となる。

本文では上記の仮定条件に基づき、図-2に示すような材料の応力-ひずみ曲線を採用した。これはヨーロッパでの主要示方書(BSI, DIN, CEB-FIP)と一部導入されている我国での設計手法(道路橋示方書、 prestressed concrete 標準示方書)に比較的高通する曲線形である。これらを用い、降伏曲げモーメントと終局曲げモーメントを算出し試験結果と比較し、図-3, 4に示した。(図中

表-1 試験体の断面寸法、材料強度

主要断面寸法				材料強度		
荷重幅 b	断面高 h	有効断面高 h_0	鉄筋比 ρ	コンクリート の圧縮強度 f_{ck} (N/mm ²)	引張鉄筋の 引張強度 f_{yk} (N/mm ²)	引張鉄筋の 引張強度 f_{tm} (N/mm ²)
90	175	145	0.40	40	560	760

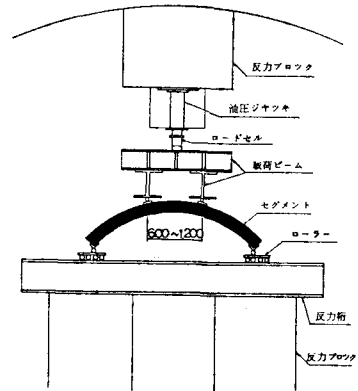


図-1 試験装置概略図 (単体曲げ試験)

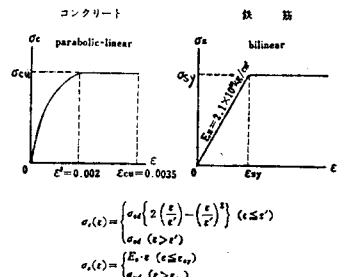


図-2 応力-ひずみ曲線

の計算値は、実耐力と比較するため荷重係数と材料安全係数は考慮していない。) 各試験体、接合部諸元と材料特性が異なり、これらを同一図中で比較するために次の無次元量を用い、表示した。

曲げモーメント $m = \frac{M}{bd^2 \sigma_{cu}}$
 力学的鉄筋比 $\omega = \frac{A_s}{bd} \times \frac{\sigma_{sy}}{\sigma_{cu}}$ (記号は表-1参照)

図中の計算値は代表的な断面を用いて算出したものだが、 $m-\omega$ がほぼ線形関係の如く示されている。これは次の式の展開でも納得できる。部材断面の圧縮合力の作用点から引張鉄筋までの距離を z 、引張合力を $A_s \times \sigma_{sy} = T$ とすると、軸力を受けない時の曲げモーメント m は、

$$\begin{aligned}
 m &= \frac{M}{bd^2 \sigma_{cu}} = \frac{T \cdot z}{bd^2 \sigma_{cu}} \\
 &= \frac{A_s \cdot \sigma_{sy}}{bd \sigma_{cu}} \times \frac{z}{d} = \omega \times \frac{z}{d} \\
 &= K_z \cdot \omega \quad (K_z = z/d \text{ とした。})
 \end{aligned}$$

となる。 $K_z = z/d$ が部材寸法に關係なく一定すると、終局耐力を力学的鉄筋比 ω によって線形に表わせることがわかる。図-3.4から判断すると、降伏モーメント m_y については試験結果をほぼ平均的に表わしているのに対し、終局モーメント m_u では試験結果の下限値を与えていて、多少のばらつきはあるものの試験結果と計算値は比較的良好な相関性を見ることができ、厳密には $m-\omega$ の關係が部材寸法や材料特性に影響を受けることや各耐力の実験値が載荷速度などに左右されること、また m_y では明確な降伏点荷重が捉えられなかったこと、 m_u では計算仮定において鉄筋の降伏以降のみすべり硬化領域を考慮していないことなどがこれらの原因となっていると思われる。

4.まとめ 本算定式は、降伏曲げモーメントについては試験値の平均値を、終局曲げモーメントについては試験結果の下限値を包絡しているが、 $m-\omega$ の關係を直線とみなす概略式で示される。

$$m_y = 0.89 \omega + 0.1 \quad m_u = 0.89 \omega + 0.6$$

これらの提案式は多少の変動幅を有しているものの、各曲げ耐力を力学的鉄筋比により一義的にかつ簡便に推定し得るものと考えられる。

本文は我国でも導入準備が進められている終局強度設計法(または限界状態設計法)で用いられている設計手法に着目し、曲げモーメント下におけるRCセグメントの曲げ耐力を算定し、実験値と対応させながらその適用例を示したもので、関係各位の御参考になれば幸いです。

○参考文献

- 1)土木学会、日本下水道協会；シールド工事に用標準セグメント 1973年
- 2)土木学会；鉄筋コンクリート設計法の最近の動向。(コンクリートライブラリー41号)昭和50年11月
- 3)間組研究年報、1979年 コンクリート構造物の終局強度設計法

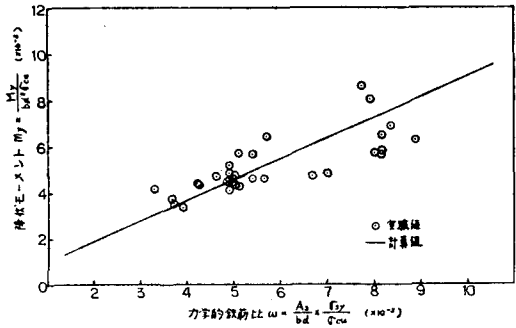


図-3 降伏曲げモーメントと力学的鉄筋比の關係

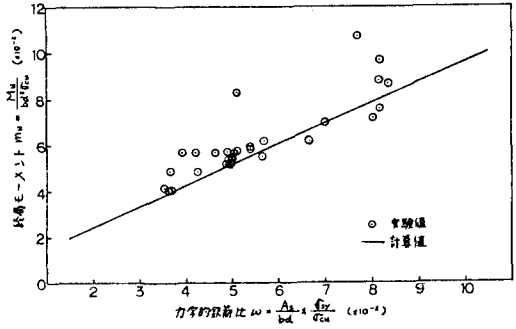


図-4 終局曲げモーメントと力学的鉄筋比の關係