

北海道開発局 正員 桑島 隆一

北海道大学工学部 正員 佐伯 昇

北海道大学工学部 正員 藤田 嘉夫

1. まえがき

ねじり荷重を受ける鉄筋コンクリート部材を設計する場合、終局時においてねじり荷重作用を無視できる場合と、力の釣合上無視できない場合がある。前者はひびわれ発生によつて、ねじり剛性が小さくなるとともに、塑性変形能力が大きいことが保証されなければならない。後者は鉄筋補強による変形剛性、耐力の確保が問題となる。また、使用限界状態時の変形を評価するためには、ねじり剛性の算定法が問題となる。本研究では、鉄筋コンクリート部材の変形および耐力の実験を、大変形まで測定可能な実験装置を用いて行い、コンクリートの断面形状、鉄筋比による変形挙動を評価し、ねじり荷重が作用するコンクリート部材を設計する場合の基礎的資料を求めたものである。

2. 材料および実験方法

(1) 材料 セメントは早強ポルトランドセメントを用い、細骨材は鶴川産の川砂(比重2.64, 吸水率2.68%)、粗骨材は静内川産の川砂利(比重2.77, 吸水率1.27%)を用いた。配合は水セメント比46%, 細骨材率43%にし、目標スランプ8cm、空気量5%のAEコンクリートとした。材令は2週間とし、目標圧縮強度を300%とした。鉄筋は、異形棒鋼SD35の直径6, 10および13mmのものを用いた。

(2) 実験方法 供試体は、図-1(a)に示すように20×20×210cmの中実および中空断面、12×20×210cmの矩形断面とし、桁の測定区間は120cmとした。また鉄筋比の大きいものは図-1(b)に示す15×15×210cmの桁とし、測定区間は90cmとした。スターラップ間隔は軸方向鉄筋比(P_x)と横方向鉄筋比(P_y)の比が1.0になるように配筋した。また一部はこのバランスを崩したものと実験した。実験装置は図-2に示すように、左端を固定し、右端にはユニバーサルジョイントを用いて角度に対する拘束を除き、またエキスパンションジョイントを用いて軸方向の拘束を除いた。大変形の角度を測定するため電気抵抗を利用した角測定装置を開発して、1mm当り10°程度までのねじり角の測定を行った。さらに鉄筋およびコンクリートのひずみの測定を行った。

3. 実験結果および考察

鉄筋コンクリート桁にねじり荷重が作用すると写真-1に示すように、らせん状にひびわれが生ずる。この状態をモデル化して、コンクリートは圧縮斜材として、圧縮力のみ分担し、軸および横方向鉄筋は引張応力のみ受けもつと仮定する。この場合コンクリートは全断面が有効に働くのではなく、断面の中心に向う程応力の分担は少なくなる。このためコンクリートが有効に働く仮定の有効厚さ(h_w)を仮定する。これが立体トラス理論である。

(1) 最小鉄筋量 ひびわれ発生荷重時において鉄筋が降伏すると脆性的破壊をすることになる。この鉄筋量をトラス理論で導くと、

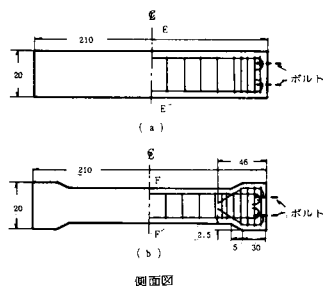


図-1 供試体の寸法・配筋

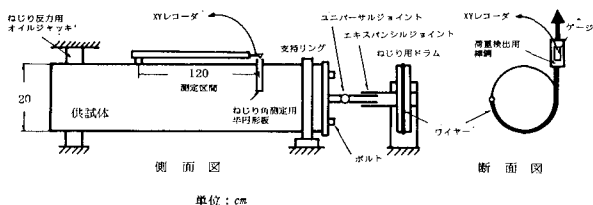


図-2 実験装置

$$\bar{A}_e = \frac{T_{cr}(b_o + h_o)}{4b_o h_o f_{ly}} \dots (1) \quad A_v = \frac{T_{cr} S}{2b_o h_o f_{vy}} \dots (2)$$

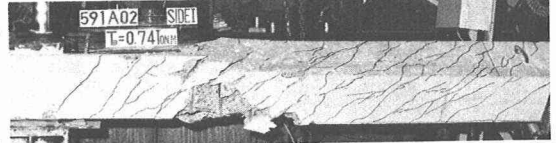


写真-1 ひびわれ発生後の状況

ここで $\bar{A}_e$, A_v は軸および横方向鉄筋の最小量, b_o , h_o 軸方向鉄筋中心を結ぶ幅および高さ, f_{ly} , f_{vy} は軸および横方向鉄筋の降伏応力度, T_{cr} はひびわれ発生モーメント, 図-3に鉄筋比による $T-\theta'$ 曲線を示しているが, $P_t = 0.62\%$ の場合が最小鉄筋量に相当している。

(2) 立体トラス理論による仮想厚さ コンクリートおよび鉄筋のひずみの結果から仮想の有効厚さを算定すると, h_w/b (b は短辺の幅) は軸方向鉄筋ひずみから 0.33 , 横方向鉄筋ひずみから 0.28 , コンクリート応力から 0.14 がえられた。さらにこれらの結果をひびわれ角度を消去するなど検討した結果, 図-4のような結果が与えられた。 h_w/b_o は約 $\frac{1}{6}$ になる。以後これを用いる事にする。

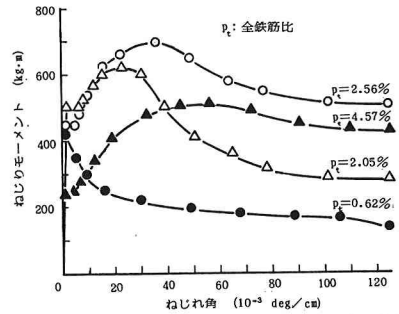


図-3 ねじりモーメント-ねじれ角 曲線

(3) ひびわれ発生後のねじり剛性 図-5に示すようにねじり剛性は全鉄筋比 (P_t) に比例して増加する, 実験式を求めると

$$G_{cr} J_{cr} = 1.9 G J P_t \dots (3)$$

ここで GJ は弾性理論により求めたねじり剛性, 全鉄筋比は

$$P_t = P_{tx} + P_{ty} = \left(\frac{\bar{A}_e}{S h} + \frac{A_v}{S h} \cdot \frac{u}{S} \right) \times 100$$

ここで P_{tx} , P_{ty} は軸および横方向鉄筋比, $\bar{A}_e$, A_v は全軸方向鉄筋および横方向鉄筋断面積, S はスターラップ間隔, u はスターラップの中心線の周長, h , b は長辺および短辺の長さである。Karlsson と同様に解析したねじり剛性の算定式を用いると図-6のような実験との相関性が与えられ, ほぼ対応していることがわかる。

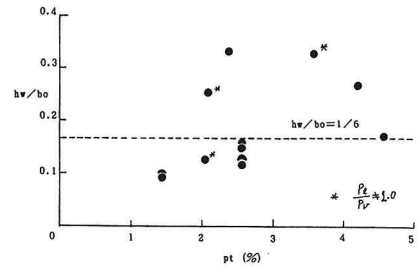


図-4 仮想厚さ

(4) ねじり荷重を受ける桁の靱性 ねじり率 10 deg./m を基準 (θ_o') にして, $T-\theta'$ 曲線から面積を求め θ_o' で除して, 平均ねじりモーメント $\bar{T}_u$ を求めた。 T_{cr} に対する $\bar{T}_u$ をねじりに対する靱性係数 β_x と置くと, β_x は図-7のようになる。 P_t が 2.5% 以上から β_x は 1 より大きくなり, 大きな靱性を示す。

4. まとめ 立体トラス理論によって解析した結果, 桁の有効の仮想厚さは短辺の軸方向鉄筋幅の約 $\frac{1}{6}$ であること, ひびわれ後のね

じり剛性がよい対応を示すこと, 最小鉄筋量の算定が可能なこと, またひびわれ後のねじり剛性は全鉄筋比に比例することなどがわかった。

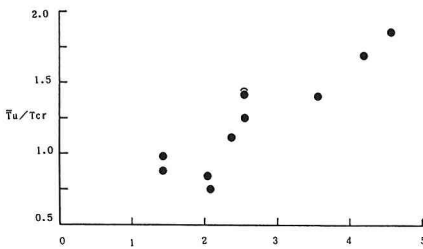


図-7 ねじり荷重を受けるRC桁の靱性

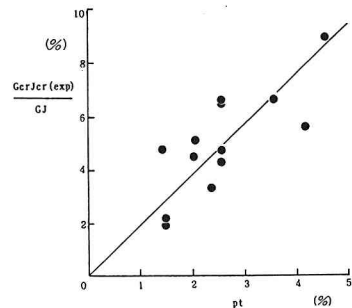


図-5 ひびわれ発生後のねじり剛性

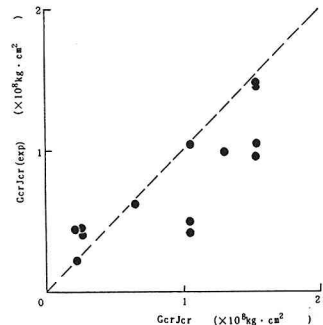


図-6 ひびわれ発生後のねじり剛性の算定