

コンクリートを充填した鋼製箱形断面部材の 終局ねじりモーメントに関する実験的研究

北田俊行*・中井 博**・才村幸生***・
神崎昭雅****

純ねじりを受ける合成箱形断面供試体（充填式）の耐力実験により、次の結論を得ている。（１）合成部材の終局ねじりモーメントは、外側鋼板の全塑性ねじりモーメントと充填コンクリートの崩壊ねじりモーメントとの和である累加ねじりモーメントの約 1.2 倍となった。（２）充填コンクリートの終局せん断応力度として、コンクリートの圧縮強度の 0.5 倍を用いるなら、合成部材の終局ねじりモーメントは、累加ねじりモーメントにより精度よく評価できる。

Keywords : composite member, concrete filled steel box member, torsion, ultimate strength, experimental study

1. ま え が き

鋼管にコンクリートを充填した合成部材（合成柱、合成梁、あるいは合成梁一柱など）は、安価なコンクリートを用いて、中空鋼管部材のみよりもかなり耐力を増大させることができる点で合理的な構造部材である。また、埋立地などの軟弱地盤上に多くの土木・建築構造物が建設される都市部で、特に問題となる地震荷重に対しても、合成部材は、鋼部材やコンクリート部材に比べて、優れた変形性能を有することが、最近、明らかにされている。

ねじりを受ける合成部材の耐力に関する研究としては、Jishan-Lee-Zhang¹⁾の円形断面の合成部材を対象とした研究がある。この研究では、合成部材の終局ねじり強度は、コンクリート断面と鋼断面との累加終局ねじり強度に、合成効果に寄与する割増し係数 β ($=1.2 \sim 1.25$) を乗ずることによって求められるとしている。しかしながら、角形断面の合成部材（充填式）に、ねじり荷重が作用した場合の終局強度や終局状態に至るまでの挙動を明らかにした研究は、筆者らの知る限り、まだ本格的に実施されていないのが現状である。

ところで、阪神高速道路公団において 1986 年 3 月に、合成柱（充填式）を有する鋼製橋脚の設計・施工指針（案）²⁾が制定されている。この設計・施工指針（案）では、角形断面を有する合成部材の設計法や合成部材を構成する鋼板や補剛鋼板の設計法などが標準化されている。ところが、角形断面を有する合成柱のねじり耐力

については、まだ十分な研究が行われていないため、安全側の配慮をして、充填されたコンクリートは無視し、外側鋼板のみで受け持たせるという設計基準としている。

以上のことから、本研究では、溶接組立の角形断面を有する合成部材に、ねじり荷重を作用させた場合の終局強度特性、すなわち終局状態に至るまでの挙動、および終局状態通過後の変形性能について調べるために、実験的研究を行った。

2. 実験供試体

本実験では、合成柱供試体（FC）以外に、合成柱のねじり強度、およびねじり剛度に及ぼす外側鋼板、ならびに充填コンクリートのそれぞれの貢献度を調べるために、充填コンクリートを打設しない鋼製柱供試体（FS）、および充填コンクリートと同じ断面を有するコンクリートのみ供試体 2 本（CC-1、および CC-2）も製作した。

また、鋼製柱、および合成柱供試体の側辺における鋼板のかど溶接は、その溶接部が弱点とならないように、開先を設けて完全溶け込み溶接とした。鋼製柱、および合成柱供試体を図-1 に、コンクリート柱供試体を図-2 に示す。

3. 載荷方法

純ねじり実験は、文献 3) の研究で開発された N-M-T 崩壊実験装置を用いて行った。この実験装置についての詳細は、同文献に譲る。

4. 使用材料の機械的性質

(1) 鋼 板

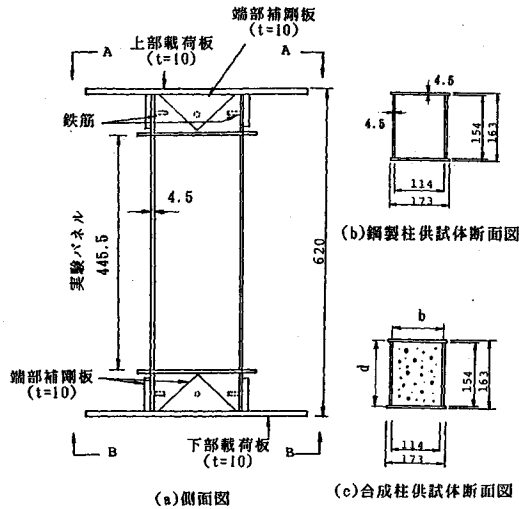
鋼製柱、および合成柱供試体の鋼板には、文献 4) で用いたものと同一の板厚 4.5 mm の平鋼板を用いた。その鋼板の降伏点は $\sigma_{sy} = 2800 \text{ kgf/cm}^2$ (274 MPa)、ヤン

* 正会員 工博 大阪市立大学助教授 工学部土木工学科
(〒558 大阪市住吉区杉本 3-3-138)

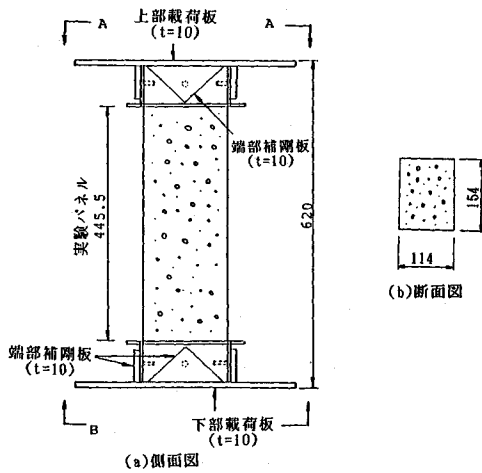
** 正会員 工博 大阪市立大学教授 工学部土木工学科

*** 正会員 工修 住友金属工業(株) 建設エンジニアリング事業本部建設技術部

**** 正会員 京都府綾部土木事務所(研究当時 大阪市立大学工学部 学生)



図一 鋼製柱供試体 (FS) および合成柱供試体 (FC) (寸法単位: mm)



図二 コンクリート柱供試体 CC (寸法単位: mm)

グ係数は $E_s = 1.99 \times 10^6 \text{ kgf/cm}^2$ ($1.95 \times 10^5 \text{ MPa}$), またポアソン比は $\mu_s = 0.294$ であった。

使用した鋼板の応力-ひずみ曲線を、図-3 に示す。

(2) 充填コンクリート

コンクリートの機械的性質は、材令によって異なるので、充填コンクリートの貢献度を精度よく評価するために、使用コンクリートの圧縮、および割裂試験は、標準的な材令 28 日以外に、材令 109 日(実験日)のテストピース(圧縮試験: $\phi 10 \times 20 \text{ cm}$, 割裂試験: $\phi 20 \times 15 \text{ cm}$)に対しても行った。なお、材令 109 日のテストピースは、コンクリート柱供試体と同様に、水中養生ではなく、空气中に放置したままの状態での養生した。表-1, および表-2 には、それぞれ材令 28 日目, および材令 109 日目の材料試験結果 (4~5 体の平均値) を示す。

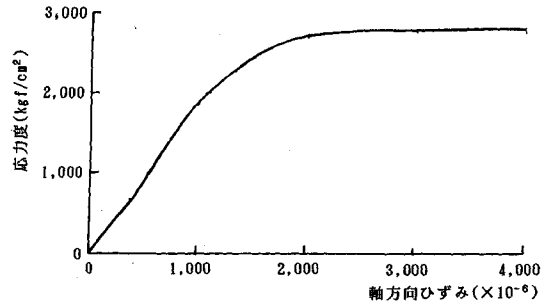


図-3 鋼材の応力-ひずみ曲線 ($1 \text{ kgf/cm}^2 = 0.098 \text{ MPa}$)

表-1 コンクリートの材料試験結果 (材令 28 日)

圧縮強度 f_c (kgf/cm^2)	ヤング係数 E_c ($\times 10^6 \text{ kgf/cm}^2$)	割裂強度 σ_{ot} (kgf/cm^2)
195.5	1.80	20.5

($1 \text{ kgf/cm}^2 = 0.098 \text{ MPa}$)

表-2 コンクリートの材料試験結果 (材令 109 日)

圧縮強度 f_c (kgf/cm^2)	ヤング係数 E_c ($\times 10^6 \text{ kgf/cm}^2$)	割裂強度 σ_{ot} (kgf/cm^2)	ポアソン比 μ_c
203.9	2.09	23.3	0.19

($1 \text{ kgf/cm}^2 = 0.098 \text{ MPa}$)

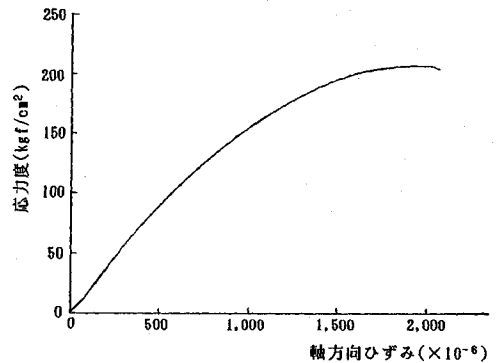


図-4 コンクリートの応力-ひずみ曲線 (材令 109 日)
($1 \text{ kgf/cm}^2 = 0.098 \text{ MPa}$)

また、使用コンクリートの応力-ひずみ曲線の一例を、図-4 に示す。

なお、解析値と実測値とを比較する場合には、材令 109 日目のコンクリートの機械的性質を用いることとした。

5. 終局ねじりモーメントとねじり剛度の解析法および実験供試体についての値

(1) 終局ねじりモーメントの解析法

a) 鋼製柱

鋼製柱の全塑性ねじりモーメント T_{ps} は、次式で求められる。

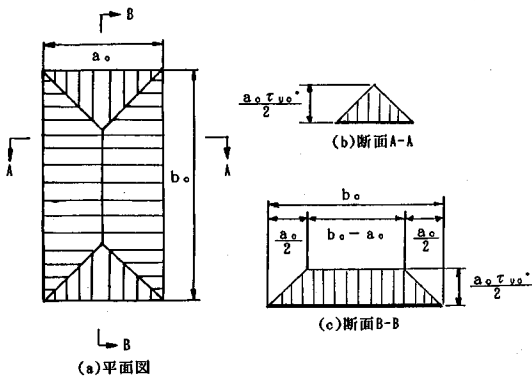


図-5 コンクリート長方形断面の応力関数分布 (サンド・ヒル・アナロジー)

$$T_{ps} = 2A\tau_{sy}t \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここに、

$A = bd$: 鋼板の中央面で囲まれた部分の面積

τ_{sy} : 降伏せん断応力度 ($\tau_{sy} = \sigma_{sy} / \sqrt{3}$)

σ_{sy} : 鋼材の降伏点

t : フランジ, およびウェブ・プレートの板厚

b) コンクリート柱

コンクリート柱の破壊ねじりモーメント T_{vc} は, 弾性論⁷⁾によると, 次式で与えられる。

$$T_{vc} = \frac{1}{3}(a_c)^2(b_c)\frac{f_2}{f_1}\tau_{cv} \quad \dots\dots\dots (2)$$

ここに、

a_c : コンクリート断面の短辺の長さ

b_c : コンクリート断面の長辺の長さ

また、

$$f_1 = 1 - \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=1,3,5,\dots}^{\infty} \frac{1}{n^2 \cosh(n\pi b_c/2a_c)} \quad \dots\dots\dots (3)$$

$$f_2 = 1 - \frac{192}{\pi^5} \frac{a_c}{b_c} \sum_{n=1,3,5,\dots}^{\infty} \frac{1}{n^5 \tanh(n\pi b_c/2a_c)} \quad \dots\dots\dots (4)$$

で、

τ_{cv} : コンクリートのせん断強度であり, 文献5)より, 次式で与えられるものとみなす。

$$\tau_{cv} = 1.5\sigma_{ct} \quad \dots\dots\dots (5)$$

ここに、

σ_{ct} : コンクリートの割裂試験強度

c) 合成柱

合成柱供試体の全塑性ねじりモーメント T_{psc} は, 次式の累加強度式が有効であるものとみなす。

$$T_{psc} = T_{ps} + T_{pc} \quad \dots\dots\dots (6)$$

ここに、 T_{ps} は, 鋼製柱供試体の全塑性ねじりモーメントで, 式(1)で与えられる。また、 T_{pc} は, 図-5に示す応力関数を仮定(サンド・ヒル・アナロジーという)して求められた充填コンクリート断面の全塑性ねじりモーメントであり, 次式で求められる⁵⁾。

$$T_{pc} = \frac{1}{6}a_c^2(3b_c - a_c)\tau_{vc}^* \quad \dots\dots\dots (7)$$

ここに、 τ_{vc}^* は, 充填コンクリートのせん断強度であり, 文献6)を参照すると, 次式で与えられる。

$$\tau_{vc}^* = \frac{f_c}{2} \quad \dots\dots\dots (8)$$

ここに、

f_c : コンクリートの圧縮試験強度

このように、充填コンクリートのせん断強度が大きくなるのは、以下の理由による。すなわち、せん断によってひび割れの発生した充填コンクリートが、ひび割れ面に沿って滑る際、粗骨材によるくさび作用により膨張する。ところが、それが外側の鋼板によって拘束され、側圧が発生してコンクリートのせん断強度が上昇するためである。したがって、式(8)が成立するためには、外側の鋼板が充填コンクリートの膨張を拘束するだけの十分な強度を有していなければならない。

(2) ねじり剛度の解析法

a) 鋼製柱

鋼製柱のねじりモーメント T_s とねじり率 ϕ との関係は, 次式で与えられる。

$$T_s = G_s K_s \phi \quad \dots\dots\dots (9)$$

ここに、

G_s : 鋼のせん断弾性係数

K_s : 鋼断面の純ねじり定数であり, 箱形断面の場合には, 次式により求められる。

$$K_s = \frac{2b^2d^2}{\frac{b}{t_f} + \frac{d}{t_w}} \quad \dots\dots\dots (10)$$

ここに、

b : 鋼板中心の幅

d : 鋼板中心の深さ

t_f, t_w : フランジ・プレートおよび腹板の板厚

b) コンクリート柱

コンクリート柱供試体のねじりモーメント T_c とねじり率 ϕ との関係は, 次式によって与えられる。

$$T_c = G_c K_c \phi \quad \dots\dots\dots (11)$$

ここに、

G_c : コンクリートのせん断弾性係数

($G_c = E_c/2(1 + \mu_c)$)

K_c : コンクリート断面の純ねじり定数であり, 次式により求められる⁵⁾。

$$K_c = \frac{a_c^3 b_c}{3} - \frac{64 a_c^4}{\pi^5} \sum_{n=1,3,5,\dots}^{\infty} \frac{1}{n^5 \tanh(n\pi b_c/2a_c)} \quad \dots\dots\dots (12)$$

また、 a_c , および b_c については, 図-5を参照されたい。

c) 合成柱

合成柱のねじりモーメント T とねじり率 ϕ との関係

表-3 供試体の終局ねじりモーメントとねじり剛度

供試体 項目	鋼製柱	コンクリート柱	合成柱
終局ねじり モーメント	2.7tf・m (26.5kN・m)	0.16tf・m (1.57kN・m)	3.50tf・m (34.2kN・m)
ねじり剛度	$8.65 \times 10^8 \text{ kgf} \cdot \text{cm}^2$ ($8.48 \times 10^6 \text{ N} \cdot \text{m}^2$)	$1.94 \times 10^8 \text{ kgf} \cdot \text{cm}^2$ ($1.90 \times 10^6 \text{ N} \cdot \text{m}^2$)	$1.06 \times 10^9 \text{ kgf} \cdot \text{cm}^2$ ($1.04 \times 10^7 \text{ N} \cdot \text{m}^2$)

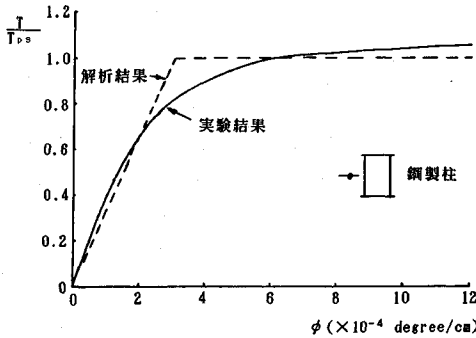


図-6 鋼製柱供試体のねじりモーメント-ねじり率曲線 (供試体 FS)

は、式 (9)、および式 (11) を用いて、次式で与えられるものとみなす。

$$T = GK\phi = T_s + T_c = (G_s K_s + G_c K_c)\phi \dots\dots\dots (13)$$

これより、合成柱供試体の有効ねじり剛度 GK は、次式で求められる。

$$GK = G_s K_s + G_c K_c \dots\dots\dots (14)$$

(3) 実験供試体についての終局ねじりモーメントとねじり剛度

表-3には、上述の解析法によって求めた各実験供試体の終局ねじりモーメント、およびねじり剛度の計算結果を示す。

6. 実験結果とその考察

(1) ねじりモーメント-ねじり率の関係

a) 鋼製柱供試体

低荷重段階における鋼製柱供試体 FS のねじり剛度 $G_s K_s$ の実測値は、 $9.85 \times 10^8 \text{ kgf} / \text{cm}^2$ ($9.65 \times 10^6 \text{ N} \cdot \text{m}^2$) となった。表-3に示した計算値 $8.65 \times 10^8 \text{ kgf} \cdot \text{cm}^2$ は、実測値より 14% 低くなっている。

鋼製柱供試体 FS のねじりモーメント-ねじり率曲線を、図-6に示す。同図において、縦軸の作用ねじりモーメント T は全塑性ねじりモーメント T_{ps} で無次元化した値 T/T_{ps} をとり、また横軸は4本の変位計から求められたねじり率の平均値をとっている。この図より、ねじり率は、 T/T_{ps} が 1.0 程度になった後、すなわち計算で求めた全塑性ねじりモーメントに近い作用ねじりモーメントで急増していることがわかる。また、低荷重の段階では、ねじりモーメント-ねじり率曲線は、線形性を保っている。しかし、 $T/T_{ps} = 0.7$ 付近から非線形性を

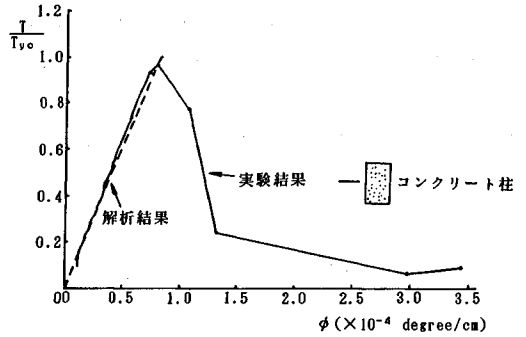


図-7 コンクリート柱供試体のねじりモーメント-ねじり率曲線 (供試体 CC-1)

呈し始めている。これは、図-3に示したように、鋼材の応力-ひずみ曲線が非線形になっていたこと、および溶接接合による圧縮残留応力により、鋼板パネルの中央部が降伏し始めることなどに起因するものと考えられる。

b) コンクリート柱供試体

低荷重段階におけるコンクリート柱供試体 CC-1、および CC-2 のねじり剛度 $G_c K_c$ の実測値の平均値は、 $2.21 \times 10^8 \text{ kgf} \cdot \text{cm}^2$ ($2.7 \times 10^6 \text{ N} \cdot \text{m}^2$) となった。これに対して、表-3の計算値 $1.94 \times 10^8 \text{ kgf} \cdot \text{cm}^2$ は、実測値より 12% 低くなっている。

また、コンクリート柱供試体のねじりモーメント-ねじり率曲線を、図-7に示す。ここで、同図の、縦軸の作用ねじりモーメント T は、破壊ねじりモーメント T_{yc} で無次元化した値 T/T_{yc} をとっている。

この図より、コンクリート柱供試体は、 $T/T_{yc} = 1$ に達する直前で急激に崩壊状態に達していることがわかる。

c) 合成柱供試体

低荷重段階における合成柱供試体 FC のねじり剛度 GK の実測値は、 $1.21 \times 10^9 \text{ kgf} \cdot \text{cm}^2$ ($1.19 \times 10^7 \text{ N} \cdot \text{m}^2$) となった。これに対して表-3の解析値 $1.06 \times 10^9 \text{ kgf} \cdot \text{cm}^2$ は、実測値より 14% 程度低い。しかし、両者の値が、オーダー的にはほぼ一致していることから、合成柱のねじり剛度は、式 (14) によって評価してよいことがわかる。

また、合成柱供試体 FC のねじりモーメント-ねじり率曲線を、図-8に示す。ここで、同図の、縦軸の作用ねじりモーメント T は全塑性ねじりモーメント T_{psc} で無次元化した値 T/T_{psc} をとっている。そして、図中には、式 (13) より求まる弾性解析結果、および比較のために、鋼製柱供試体 FS、およびコンクリート柱供試体 CC-1 のねじりモーメント-ねじり率曲線も示してある。この図より、ねじり率は、 T/T_{psc} が 1.0 程度になった後、すなわち全塑性ねじりモーメントに近い作用モーメントで急増していることがわかる。ねじりモーメント-ねじり率

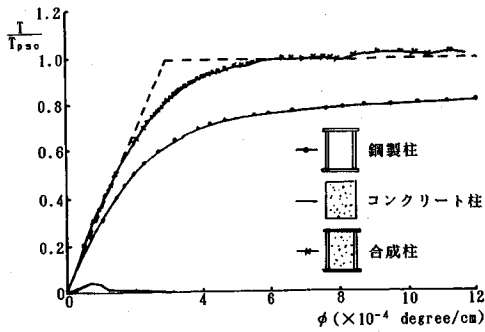


図-8 合成柱供試体のねじりモーメント-ねじり率曲線 (供試体FC)

表-4 鋼製柱供試体の終局ねじりモーメント

鋼製柱供試体名称	①実験値 T_{us} (tf·m)	②全塑性 T_{ps} (tf·m)	③ T_{us}/T_{ps}
FS	2.877	2.700	1.065

(lft·m=9.8kN·m)

り率曲線の実測結果は、 $T/T_{psc}=0.6$ 付近から非線形性を呈し始めている。この理由としては、鋼材の応力-ひずみ曲線が非線形であること、鋼板要素に含まれる圧縮残留応力のため鋼板要素の中央部分が先に降伏すること、および充填コンクリートにひび割れが発生してもそれが外側の鋼板によって拘束され、充填コンクリートは破壊せず塑性的な挙動を示すこと⁸⁾などが考えられる。

また、鋼製柱、および合成柱供試体においては、終局状態に達した後、ねじり変形が増加しても、ほとんどねじり耐荷力は低下せず、著しく大きな変形性能を有していることがわかる。

(2) 終局強度

a) 鋼製柱供試体

5. (1) a) より求められた鋼製柱供試体の全塑性ねじりモーメントの計算値 T_{ps} と実測の終局ねじりモーメント T_{us} とを比較したものを、表-4 に示す。

この表より、鋼製柱供試体の終局ねじりモーメントは、全塑性ねじりモーメントに良好な精度で一致していることがわかる。なお、実験終了後、鋼製柱供試体のすべての部分を目視によって観察したが、局部座屈現象は、認められなかった。

b) コンクリート柱供試体

コンクリート柱供試体の破断ねじりモーメント T_{pc} (5. (1) b) 参照) とコンクリート柱供試体の終局ねじりモーメント T_{uc} とを比較したものを、表-5 に示す。

この表より、コンクリート柱供試体の終局ねじりモーメントは、計算崩壊ねじりモーメントの94%~97%の値となっていることがわかる。すなわち、コンクリート柱の終局ねじりモーメントは、5. (1) b) で示した崩壊ねじりモーメントの解析法によってほぼ推定できること

表-5 コンクリート柱供試体の終局ねじりモーメント

コンクリート柱供試体名称	①実験値 T_{uc} (tf·m)	②破断 T_{pc} (tf·m)	③ T_{uc}/T_{pc}
CC-1	0.154	0.159	0.969
CC-2	0.151	0.161	0.938

(lft·m=9.8kN·m)

表-6 合成柱供試体の終局ねじりモーメント

合成柱供試体名称	①実験値 T_{usc} (tf·m)	②全塑性 T_{psc} (tf·m)	③ T_{usc}/T_{psc}
FC	3.602	3.499	1.029

(lft·m=9.8kN·m)

表-7 鋼断面とコンクリート断面との累加終局ねじりモーメントと実験終局ねじりモーメントとの比較 (合成効果)

合成柱供試体の名称	① T_{us} (tf·m)	② T_{uc} (tf·m)	③ ①+② (tf·m)	④ T_{usc} (tf·m)	⑤ = $\frac{④-③}{③}$ (%)
FC	2.877	0.153	3.030	3.602	18.9

(lft·m=9.8kN·m)

T_{us} : 対応する鋼製柱供試体の終局ねじりモーメントの実験値
 T_{uc} : コンクリート柱供試体の終局ねじりモーメントの実験値
 T_{usc} : 合成柱供試体の終局ねじりモーメントの実験値

がわかる。

c) 合成柱供試体

合成柱供試体の全塑性ねじりモーメント T_{psc} (5. (1) c) 参照) と終局ねじりモーメントの実験値 T_{usc} とを比較したものを、表-6 に示す。

また、鋼製柱供試体の終局ねじりモーメントの実験値 T_{us} とコンクリート柱供試体の終局ねじりモーメントの実験値 T_{uc} との和 $T_{us}+T_{uc}$ 、および合成柱供試体の終局ねじりモーメントの実験値 T_{usc} を比較したものを、表-7 に示す。この表より、鋼製柱供試体にコンクリートを充填したことによる終局ねじりモーメントの上昇率、すなわち合成効果について調べる。

まず、合成柱供試体の終局ねじりモーメントについて考察する。 T_{usc}/T_{psc} の値は、1.029 となり、合成柱供試体の終局ねじりモーメント T_{usc} は、式 (6) を用いると、精度よく安全側に推定できることがわかる。

つぎに、表-7 の欄⑤の値より、合成柱供試体の終局ねじりモーメント T_{usc} は、鋼製柱供試体とコンクリート柱供試体との終局ねじりモーメントの和として与えられる累加終局ねじりモーメント $T_{us}+T_{uc}$ よりも、18.9% 大きくなっていることがわかる。また、 T_{us} を基準にすると、 T_{usc} は T_{us} より約 25.2% の強度上昇が認められる。

さらに、合成柱供試体においては、上・下部載荷板、および端部に設けたジベル (鉄筋) によって充填コンクリートの軸方向変位が拘束される。これらの拘束の効果が、充填コンクリートの終局せん断強度を上昇させたとも考えられる。そこで、実験終了後の合成柱供試体にお



図-9 充填コンクリートの崩壊状況

いて、充填コンクリートの軸方向変位を拘束しないように、上・下部載荷板に開口部を設け、それとともにジベルを取り除いた後に、再度ねじり耐荷力実験も実施した。しかし、終局強度、および剛性には、これらの処置を行う以前の値と有意な差異が認められなかった。

(3) 充填コンクリートの崩壊状況

合成柱供試体のウェブ・プレートの鋼板パネルをガス切断して切り開き、観察された充填コンクリートの崩壊状況を、図-9に示す。合成柱供試体の充填コンクリートには、ひび割れが全面にわたり一様に生じ、ひび割れの方向も約45°を向き、せん断崩壊している状況が図よりわかる。

7. ま と め

平鋼板を用いた角形鋼製柱供試体(溶接組立て)1体、コンクリート柱供試体2体、および角形合成柱供試体(充填形式)1体のねじり耐荷力実験を行い、以下の結論を得た。

i) 局部座屈が発生しない鋼製柱供試体の終局ねじりモーメント T_{us} は、降伏ねじりモーメント T_{ps} とほぼ一致する。

ii) 局部座屈が発生しない鋼製柱供試体のねじり剛度は、作用ねじりモーメント T が T_{ps} の70%以下であれば、ブレッダの公式にしたがって求めた値とほぼ一致する。しかし、 $T > 0.7 T_{ps}$ の領域では、用いた鋼材の非線形性、および溶接接合による圧縮残留応力の存在のため、 $T-\phi$ (ねじり率) 曲線は、非線形性を呈する。

iii) コンクリート柱供試体の終局ねじりモーメント T_{uc} は、終局せん断応力 τ_{cy} に $1.5 \sigma_{ct}$ (σ_{ct} : コンクリートの割裂試験より求められる引張強度) を用いて、弾性計算により求めた破断ねじりモーメント T_{pc} とほぼ一致する。

iv) コンクリート柱供試体の作用ねじりモーメント T が T_{uc} に達した後のコンクリート柱供試体は、変形性能がほとんどなく、急激に崩壊する。

v) 今回の実験の合成柱供試体の終局ねじりモーメント T_{usc} は、充填コンクリートの終局せん断応力度を $f_c/2$ (f_c : コンクリートの圧縮強度) とし、塑性理論(サンド・ヒル・アナロジー)を用いて求められた充填コンクリート断面の全塑性ねじりモーメント T_{pc} と鋼断面の全塑性ねじりモーメント T_{ps} との累加全塑性ねじりモーメント T_{psc} によって、ほぼ推定することができる。

vi) 合成柱供試体の終局ねじりモーメント T_{usc} は、鋼製柱供試体とコンクリート柱供試体との終局ねじりモーメントの累加終局ねじりモーメント $T_{us} + T_{uc}$ の18.9%となった。すなわち、ねじりを受ける合成柱では、かなりの合成効果が期待できることがわかった。

vii) $T < 0.6 T_{psc}$ なる領域における合成柱供試体のねじり剛度は、弾性理論により求められる鋼断面とコンクリート断面との累加剛度によってほぼ推定できる。しかし、 $T > 0.6 T_{psc}$ では、鋼材の非線形性、圧縮残留応力による鋼板の塑性化、およびコンクリートのひび割れ発生に起因する充填コンクリートの塑性的な挙動のために、 $T-\phi$ 曲線は非線形性を呈する。

viii) 鋼製柱、および合成柱供試体は、終局状態に達した後、ねじり変形が増加しても、ねじり耐荷力はほとんど低下せず、著しく大きな変形性能を有していることがわかった。

本研究を実施するに当たり、昭和63年度と平成元年度の2年間にわたって、文部省から科学研究費一般研究C(研究代表者 北田俊行)として研究費の補助を受けた。

参 考 文 献

- 1) Xu Jishan, Lee, G. and Zhang, K.C.: Experimental studies on concrete filled steel tube short column under compression and torsion, Proceedings of the International Speciality Conference on Concrete Filled Steel Tubular Structures (Including Composite Beam), Harbin, China, pp.60~66, August 1988.
- 2) 阪神高速道路公団: 合成柱(充填形式)を有する鋼製橋脚の設計・施工指針(案), p.43, 1986年3月。
- 3) 北田俊行・中井 博・國廣昌史・松下孝文: 圧縮・曲げ・ねじりの組合せ断面力を受ける薄肉箱形短柱の終局強度特性に関する実験的研究, 構造工學論文集, 土木学会, Vol. 34 A, pp.211~231, 1988年3月。
- 4) 北田俊行・中井 博・才村幸生・吉田康樹: 突起付き鋼板を用いた合成角形短柱の耐荷力に関する実験的研究, 第2回合成構造の活用に関するシンポジウム講演論文集, 土木学会構造工學委員会, pp.189~194, 1989年9月。
- 5) 泉 満明: ねじりを受けるコンクリート部材の設計法, 技報堂出版, pp.27~104, 1972年9月。
- 6) W.F. Chen原著, 色部 誠・河角 誠・安達 洋監訳

- ：コンクリート構造物の塑性解析，丸善出版，pp. 311～328，1984年7月。
- 7) Timoshenko, S.P. and Goodier, J.N. : Theory of Elasticity, International Student Edition, McGraw-Hill, 1951.
- 8) 北田俊行・吉田康樹・中井 博：コンクリートを充填した鋼管短柱の弾塑性挙動に関する基礎的研究，構造工学論文集，土木学会，Vol. 34 A, pp. 255～264, 1988年3月。(1990.12.17 受付)

EXPERIMENTAL STUDY ON ULTIMATE STRENGTH OF CONCRETE FILLED STEEL BOX MEMBERS SUBJECTED TO TORSION

Toshiyuki KITADA, Hiroshi NAKAI, Yukio SAIMURA and Akimasa KANZAKI

This paper deals with the ultimate strength of composite members with box cross section subjected to pure torsion. Through the experiments by four specimens of which one is thin-walled steel, two are concrete, and one is composite members, the following conclusions are obtained ; (1) The ultimate torsional moment of composite member is about 1.2 times the cumulative torsional moment of the fully plastic torsional moment of the outer steel plate and the collapse torsional moment of the isolated concrete section. (2) However, when the ultimate shear stress of confined concrete is taken as 0.5 times the compressive strength of concrete, the ultimate torsional moment can be approximately evaluated by the cumulative torsional moment.