

第 I 部門 種々の材料充填による円形鋼管の強度と変形能

東京大学工学研究科 学生員 ○佐々 暁生 京都大学工学研究科 フェロー 渡邊 英一
京都大学工学研究科 正会員 杉浦 邦征 京都大学工学研究科 正会員 宇都宮智昭

はじめに

阪神大震災では鋼製橋脚が塑性化し、保有する耐力・変形能に応じて被災度が異なった。特に変形能は耐震性指標として重要で、耐震補強は変形能のみ向上させることが第一の目標になる。大幅な強度上昇を伴うと基礎まで含めた大規模な改修が必要となるためである。そこで現在、鋼管の補剛後の強度、変形能を的確にコントロールする技術の確立が急務となっている。本研究では材料充填による補強を取り上げ、充填材の材料特性が充填鋼管の構造性能に及ぼす影響を実験的に解明した。

実験の概要

充填材の材料特性と充填鋼管の構造性能の相関を調べるため、短柱圧縮試験を実施した。供試体に用いた充填材は、カーボングラウト（炭素繊維粉末＋早強セメント）およびケーブルバッファ（ポリブタジエン系ゴム）であり、それぞれ 2 種類の材齢のものを用意した。一方、供試体製作に用いた円形鋼管は、厚さ 1.0mm、1.2mm、1.6mm および 2.6mm の鋼板をローラー曲げによって冷間加工したものであり、材質は SS400 である。

供試体は径厚比（20,30,40,50）および充填形式（S：鋼管のみ、

SC-y：若材齢カーボングラウト充填、

SC：カーボングラウト充填、SR-y：

若材齢ケーブルバッファ充填、SR：

ケーブルバッファ充填、C-y：若材齢

カーボングラウトのみ、C：カーボ

ングラウトのみ、R-y：若材齢ケー

ブルバッファのみ、R：ケーブルバッファのみ）をパラメータとし

て計 36 体設定した。それら供試体の形状を図-1 に、設計寸法を表-1 に示す。

圧縮試験は 100tf 万能試験機による平押し単調載荷とし、鋼管と充填材とを一体的に加力した。荷重は試験機のロードセルにて計測し、供試体の軸方向変位は変位計により測定した。また鋼管表面に貼付したひずみゲージにより局部ひずみも計測した。

実験の結果

引張試験によって求めた鋼材の機械的性質を表-2 に、C-y、C、R-y、R シリーズの圧縮試験から求めたカーボングラウト、ケーブルバッファの機械的性質を表-3 に示す。

充填鋼管の圧縮試験の結果、図-2(a)～(b)のような荷重-ひずみ関係が得られた。図中、縦軸は荷重を鋼管の降伏圧縮耐力（ P_y ）で、横軸は平均軸ひずみを降伏耐力時の弾性ひずみ（ ϵ_y ）で無次元化

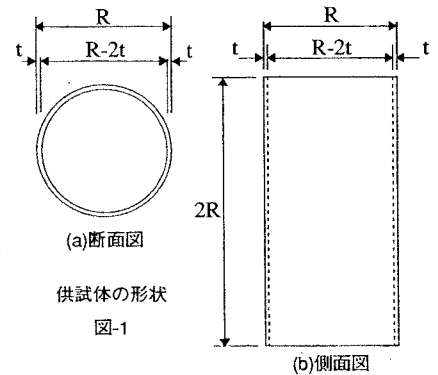


表-1 供試体の設計寸法

供試体名	管径 R(cm)	管厚 t(cm)	径厚比 R/2t	管断面 As(cm ²)	充填材断面 Am(cm ²)
20-(S,SC-y,SC,SR-y,SR,C-y,C,R-y,R)	10.4	0.26	20	8.593	76.36
30-(S,SC-y,SC,SR-y,SR,C-y,C,R-y,R)	9.6	0.16	30	4.905	67.47
40-(S,SC-y,SC,SR-y,SR,C-y,C,R-y,R)	9.6	0.12	40	3.661	68.72
50-(S,SC-y,SC,SR-y,SR,C-y,C,R-y,R)	10.0	0.10	50	3.173	75.37

表-2 鋼材の機械的性質

板厚t (cm)	ヤング率E (10 ³ kgf/cm ²)	ポアソン比 ν	降伏強度σ _y (kgf/cm ²)
0.26	2.151	0.2868	2311
0.16	2.155	0.3365	2245
0.12	1.981	0.3565	1891
0.10	2.110	0.3371	2304

表-3 充填材の機械的性質

供試体	ヤング率E (10 ³ kgf/cm ²)	ポアソン比 ν	圧縮強度σ _{cu} (kgf/cm ²)
C-y	118.7	0.2389	145.5
C	131.3	0.2218	211.0
R-y	0.9867	0.4514	—
R	1.395	0.4546	—

している。図以外にも全ての径厚比の鋼管に対して SC-y、SC タイプの結果は S タイプに比べ最大耐力、最大耐力時の無次元化ひずみ (= 変形能) および耐力劣化勾配とともに大幅な改善を示した。これは、鋼管の拘束効果により内部のカーボングラウトが大変形域まで耐力上昇を続けたためと考えられる。また SC タイプの変形能は SC-y タイプに比べ小さくなったが、

充填材強度の大きい SC タイプの方が鋼管壁を押し出す力が大きく局部座屈の発生を早めたためと思われる。一方 SR-y、SR タイプでは、いずれの構造性能にも改善が見られなかったばかりか、若干の低減も観察された。ポアソン比が大きく、はらみ出しによる周方向応力を鋼管に与えることで不利な 2 軸応力状態が形成され、見かけ上の鋼管の耐力が低下したものと思われる。これら充填鋼管の強度は累加強度に対する比として図-3 にまとめた。

さて、充填材の材料特性と充填鋼管の構造性能との関係については、図-4、図-5 のような結果が得られた。図-4 はカーボングラウト充填材の強度と充填鋼管の強度との相関を表しており、充填材強度の上昇に伴い充填鋼管強度が著しく上昇することが明らかになった。一方図-5 は充填鋼管の変形能との相関であるが、充填材強度が大きくなるに従い、変形能は改善されるもののある程度で最大となりその後減少するという結果が得られた。最大変形能は充填材強度 150kgf/cm² 前後で見られ、それ以下の強度においては経済的な変形能向上が望めることが分かった。

結論

- ① 充填材自体の変形能が大きくても、一定のヤング率、強度を伴わなければ鋼管の変形能向上には効果がない。
- ② 側方拘束されて強度上昇するような充填材の場合、その強度が 50~100kgf/cm² 程度であれば鋼管の強度増は抑えられ、しかも変形能改善が望める。
- ③ ポアソン比の大きい充填材は鋼管に不利な 2 軸応力状態を形成し、強度を低下させる可能性がある。

今後、曲げについても同様な実験を行い、検討する必要がある。

【参考文献】

- 1) 鈴木敏郎他：純圧縮を受けるコンクリート充填鋼管短柱の座屈及び座屈後挙動、日本建築学会構造系論文集、1996 年 8 月
- 2) 宇佐美勉他：鋼管短柱の圧縮および曲げ耐荷力実験、土木学会論文集、1990 年 4 月

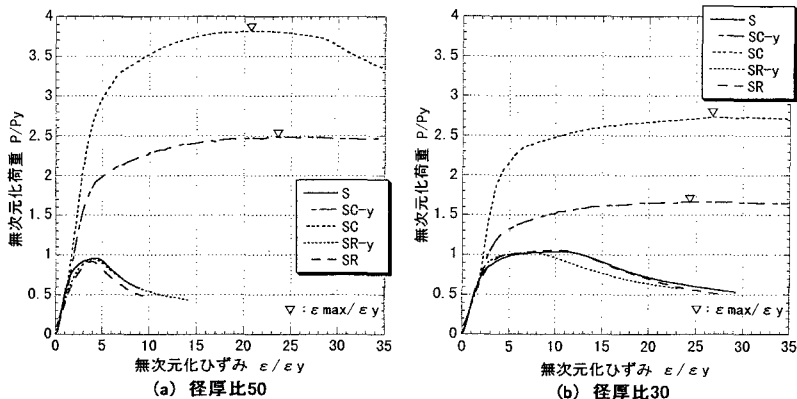


図-2 充填鋼管の荷重-変形曲線

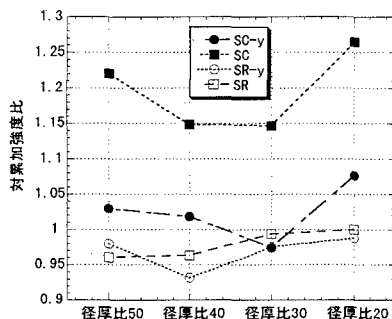


図-3 累加強度に対する充填鋼管の強度

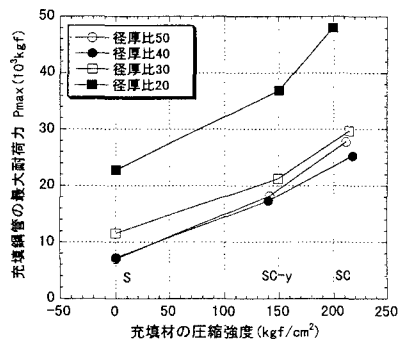


図-4 充填材強度-充填鋼管強度の関係

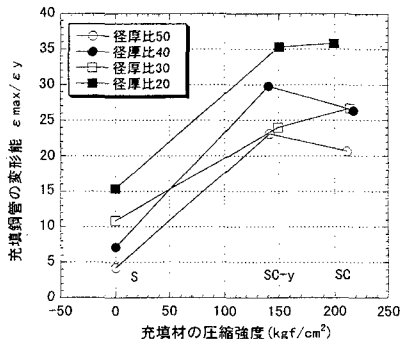


図-5 充填材強度-充填鋼管変形能の関係