

V-29 コンクリート充填式二重鋼管柱をブレースとして用いた架構の動的応答解析について

北海道大学大学院 学生員 今野克幸
 北海道大学工学部 正員 上田多門
 北海道大学工学部 正員 角田與史雄
 ドーピー建設工業株式会社 正員 大平雅司

1.はじめに

コンクリート充填式二重鋼管柱は、図-1に示すように、同心円状に二重に配置された鋼管の間にコンクリートが充填された構造で内側コンクリートにはプレストレスが導入されている。圧縮力には二重鋼管と外側コンクリートによって拘束された内側コンクリートとPC鋼棒で抵抗し、引張力にはPC鋼棒と外側鋼管が抵抗する。コンクリート充填式二重鋼管柱について、現在までに静的な軸圧縮力と軸引張力における特性がそれぞれ示されている^{1),2),3),4)}。本研究では、コンクリート充填式二重鋼管柱ブレース架構を一質点系にモデル化し解析的に動的応答性状を明らかにする。その際にコンクリート充填式二重鋼管柱ブレース架構の動的応答性状との比較を行うために弾性系と弾塑性系の動的応答解析が行われた。

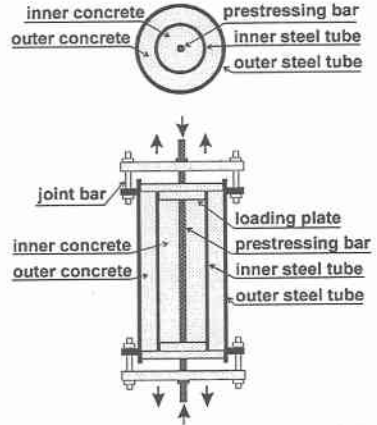


図-1 コンクリート充填式二重鋼管柱

2.復元力特性について

コンクリート充填式二重鋼管柱の復元力特性を引張を正、圧縮を負として図-2に示す。コンクリート充填式二重鋼管柱が、引張力下においてトリニアな剛性を示すことは前述のとおり著者らの研究によって明らかにされている³⁾。静的圧縮力載荷実験と解析では内側コンクリートの中心部分にPC鋼棒が配置されていなかったが、実際にブレース架構として用いる場合には、PC鋼棒が配置されておりPC鋼棒も圧縮力を分担し、 $-P_0 < P < P_0$ ではほぼ対称な荷重-変位曲線が得られる。また、図-2に示された引張力下における第一段階の剛性は、内側コンクリートにプレストレスを導入したことにより得られるもので圧縮力載荷時に内側コンクリートに残留変形を生じ、有効プレストレスが減少するとそれは消失する。プレストレスレベルを内側コンクリートの圧縮強度 f_c' の約30%程度とし、圧縮力が最大となったときの内側コンクリートの圧縮応力が50%程度であれば正負交番載荷時の内側コンクリートの残留変形による有効プレストレスの減少を非常に小さく抑え、繰り返し載荷においても図-2に示す復元力特性は維持されることが実験的に示され

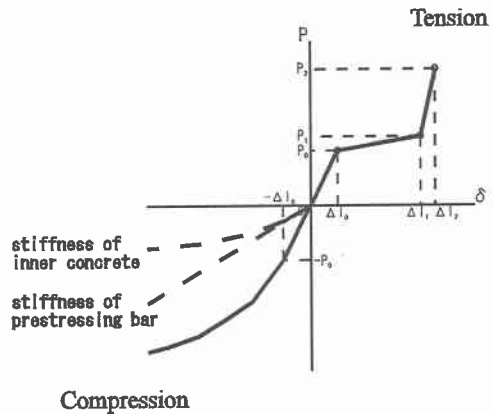


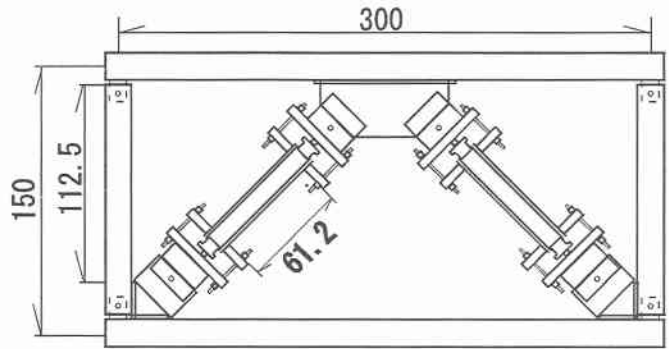
図-2 コンクリート充填式二重鋼管柱の復元力特性

Dynamic Analysis of Steel Frame with Brace of Concrete Column Encased by Double Steel Tubes
 by Katuyuki KONNO, Tamon UEDA, Yoshio KAKUTA, Masaji OHIRA

た⁵⁾。よって、本研究の解析供試体の内側コンクリートのプレストレスレベルをコンクリート圧縮強度の20%とし、解析における最大荷重の範囲では圧縮力下の荷重-変位曲線は線形とし復元力特性は一定であると仮定する。

3.解析供試体について

本研究は、コンクリート充填式二重鋼管柱をブレースとして用いた場合の動的応答性状を明らかにすることが目的であるため、多層多スパンではなく、図-3に示すように一層一スパンの架構を解析供試体として用いる。接合部の境界条件は、全てピン接合と仮定している。コンクリート充填式二重鋼管柱と柱、梁の断面寸法をそれぞれ表-1と表-2に示す。それらの材料特性値は表-3に示す。



unit:cm

図-3 供試体図

表-1 コンクリート充填式二重鋼管柱断面

供試体名	D_i (cm)	t_i (cm)	l_i (cm)	D_o (cm)	t_o (cm)	l_o (cm)	D_p (cm)	l_p (cm)
FRM01	8.91	0.270	66.2	13.98	0.335	61.2	1.3	82.2
FRM02	11.43	0.320	66.2	16.52	0.450	61.2	1.3	82.2

D_i , D_o : それぞれ、内側鋼管と外側鋼管の外径

t_i , t_o : それぞれ、内側鋼管と外側鋼管の肉厚

D_p : PC鋼棒の外径, l_i , l_o , l_p : それぞれ内側鋼管, 外側鋼管, PC鋼棒の長さ

表-2 柱、はりの断面寸法

部材	断面寸法(mm)			断面積 (cm^2)	単位重量 (kgf/m)	断面二次モーメント(cm^4)	
	H×B	t_w	t_f			I_x	I_y
柱・はり	150×150	7	10	40.14	31.5	1640	563

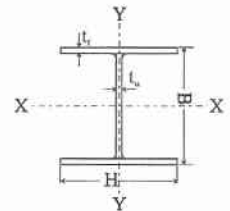


表-3 材料特性値

供試体	外側鋼管		PC鋼棒		コンクリート	
	E_s (GPa)	f_y (MPa)	E_s (GPa)	f_y (MPa)	f'_c (MPa)	E_c (GPa)
FRM01	175.4	291.4	205.8	1372	19.6	19.8
FRM02	175.4	291.4	205.8	1372	58.8	34.5

E_s , E_c : ヤング係数, f_y : 降伏強度, f'_c : 一軸圧縮強度

4.履歴曲線と固有周期

供試体FRM01とFRM02の履歴曲線(復元力特性)をそれぞれ図-4と図-5に示す。図中のNL01, NL02とL01, L02で示される曲線はそれぞれ供試体FRM01とFRM02の動的応答との比較を行うための弾塑性振動系と線形弾性振動系の履歴特性である。このような、履歴特性を持った一質点系に対して質点に加力した場合と基礎を加振した場合について動的応答解析を行う。なお、解析結果における k は、その値が0のときは供試体が第一段階目の剛性の範囲内で振動しており、 $k=1$ のときは第二段階目(弾塑性振動系では塑性域、弾性振動系では常に $k=1$)、 $k=2$ のときは第三段階目の範囲内で振動していることを表している。

コンクリート充填式二重鋼管柱ブレース架構は、剛性が三段階に変化し、かつ除荷時に載荷時と同じ経路をとる弾性的な挙動を示すため固有周期が三段階に変化するといえる。第一段階目の剛性を用いて計算される固有周期を T_1 とし、第二段階目と第三段階目についてはそれぞれ T_2 、 T_3 とする。供試体FRM01とFRM02の固有周期を表-4に示す。供試体FRM01は $T_2/T_1=1.261$ に対して、FRM02は $T_2/T_1=1.3087$ とし、 T_2/T_1 をより大きくした場合の動的応答特性について検討する。

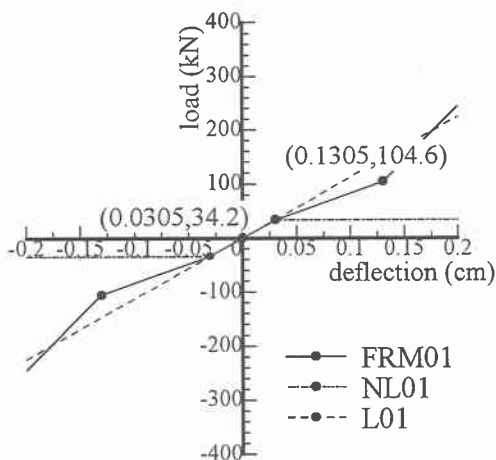


図-4 履歴曲線(供試体FRM01)

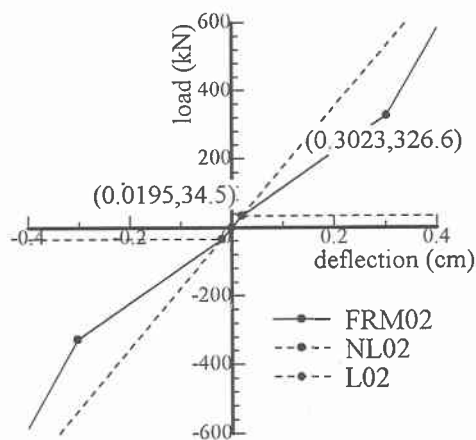


図-5 履歴曲線(供試体FRM02)

表-4 固有周期

供試体	FRM01	FRM02
T_1 (sec)	0.1852	0.1474
T_2 (sec)	0.2336	0.1929
T_3 (sec)	0.1383	0.1210

5.解析結果

5.1質点に加力した場合

図-6は、供試体FRM01とL01の質点に加力した場合の解析結果である。外力は、図-6(a)に示すように最大値が19.6kNで、周期は供試体FRM01の第一段階の固有周期(L01の固有周期に等しい) $T_1=0.1852\text{sec}$ と等しく与えられた。線形振動系L01の応答変位は外力との共振による発散が見られるが、供試体FRM01の応答変位は増加と減少を繰り返している。本研究ではコンクリート充填式二重鋼管柱ブレース架構の履歴特性に着目しており粘性減衰は考慮していないが、供試体FRM01では固有周期が三段階に変化することで応答変位が小さく抑えられている。

5.2基礎に加振した場合

図-7は、El Centro 1940 の地震の最初の10秒間の地震波の加速度歴である。図-8と図-9は、図-7に示した加速度を0.1倍してそれぞれ供試体FRM01とFRM02に与えた場合の解析結果である。図-8と図-9のどちらも、弾塑性振動系は、塑性仕事によって地震エネルギーが吸収され応答変位は小さいが、残留変形を生じる。図-8のL01と図-9のL02を比較すると、L02の方が応答変位が大きくなっているのに対して、供試体FRM01とFRM02の応答変位には大きな差は見られない。El Centro の地震波の加速度を0.1倍の大きさで与えた場合、コンクリート充填式二重鋼管柱ブレース架構は、 T_2/T_1 を大きくした方が、応答変位はより安定すると結果が得られた。

図-10は、図-7に示した地震波を加速度の大きさを0.8倍して供試体FRM02に与えた場合の解析結果である。この場合、供試体FRM02は剛性の第三段階目の範囲内で振動している。L02は応答変位が次第に大きくなっているのに対して、供試体FRM02はほぼ一定の変位を保って振動しており、変位量もL02に比べて明らかに小さい。これは、供試体FRM02は剛性の第三段階目の範囲内で振動した場合、固有周期が変化だけでなく、第三段階目の大きな剛性によってより大きな外力に抵抗できるためだと考えられる。

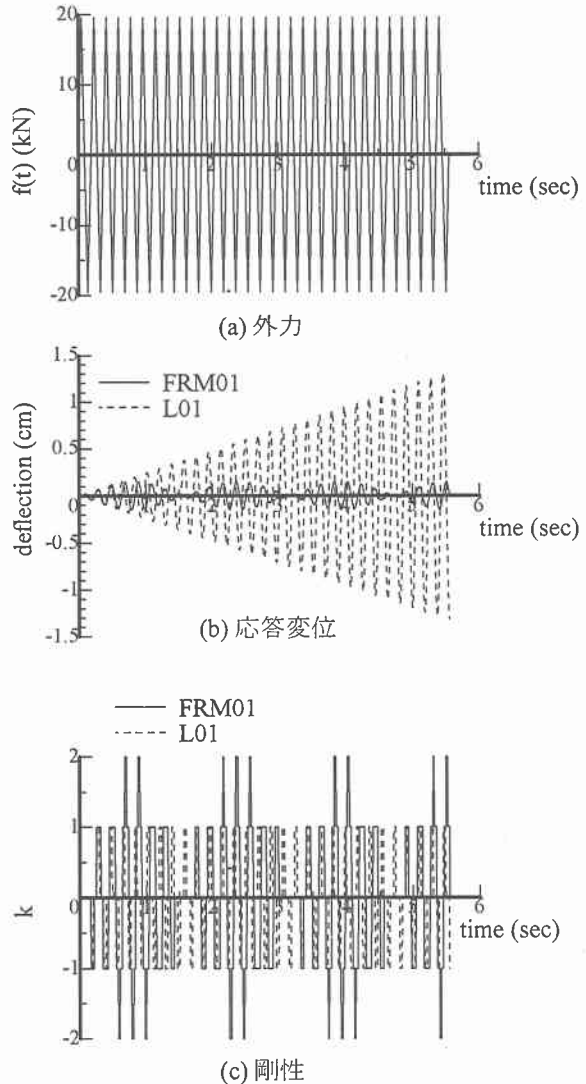


図-6 質点加力の解析結果



図-7 El Centro 1940 の地震波の加速度歴

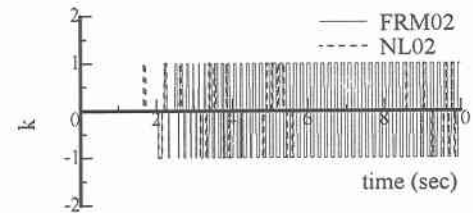
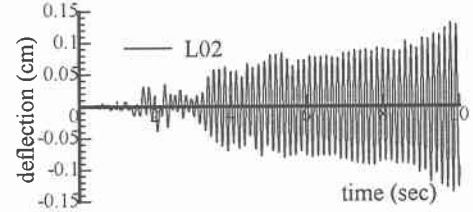
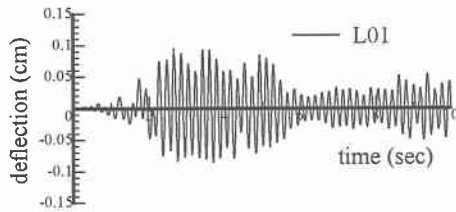
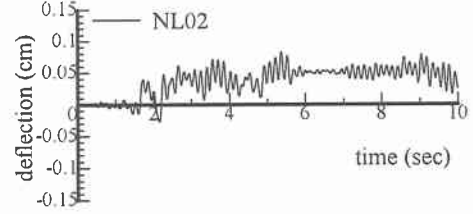
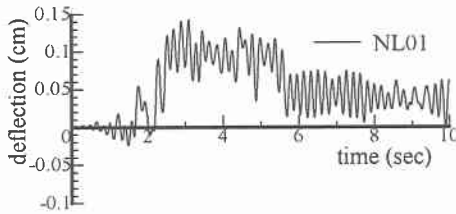
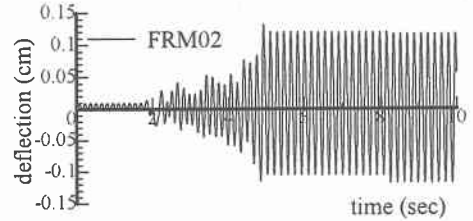
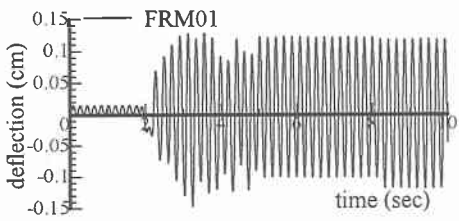


図-8 加速度の大きさを0.1倍した場合

図-9 加速度の大きさを0.1倍した場合

6.まとめ

本研究で得られた結論を以下に示す。

1)コンクリート充填式二重鋼管柱をブレースとして用いた架構では、架構の固有周期が三段階に変化するため、第一段階目の固有周期に等しい周期の外力が与えられた場合においても、発散することなく安定した応答変位を示し、残留変形も生じない。

本研究に用いた供試体について、El Centro の地震波を加速度の大きさを0.1倍と0.8倍して与えた場合に限って、以下の二つのことが結論としていえる。

2)コンクリート充填式二重鋼管柱ブレース架構の第一段階目の剛性と等しい剛性を持つ線形弾性振動系との比較によって、 T_2/T_1 を大きくする、すなわち第一段階目の剛性と第二段階目の剛性の比を大きくした方が、固有周期を変化させることによって応答変位を小さく抑えることができる特性が、より明確に現れるといえる。

3)コンクリート充填式二重鋼管柱ブレース架構が、剛性の第三段階目の範囲内で振動する場合には、第二段階目の範囲内で振動している場合に比べて、応答変位がほぼ一定に保たれるだけでなく、線形弾性振動系に比べて応答変位を小さく抑えることができる。

今後、コンクリート充填式二重鋼管柱ブレース架構の固有周期を変化させた解析を行い、応答スペクトルを求めることによって、コンクリート充填式二重鋼管柱ブレース架構の一般的な動的応答性状を明らかにする予定である。

参考文献

- 1)今野克幸, 上田多門, 角田與史雄, 大平雅司
コンクリート充填式二重鋼管柱の圧縮特性の実験的評価, コンクリート工学年次論文報告集, 第16巻第2号, pp1229~1234, 1994年6月
- 2)今野克幸, 上田多門, 角田與史雄, 大平雅司
コンクリート充填式二重鋼管構造の圧縮特性の解析的評価, 土木学会北海道支部論文集, 第51号(A), pp.512~515, 1995年2月
- 3)荒木敏光, 今野克幸, 上田多門, 角田與史雄, 大平雅司
引張力を受けるコンクリート充填式二重鋼管構造の変形特性について, 土木学会北海道支部論文集, 第51号(A), pp.516~519, 1995年2月
- 4)Katsuyuki KONNO, Tamon UEDA, Yoshio KAKUTA and Masaji OHIRA
A Study on Deformational Characteristics of Concrete Column Encased by Double Steel Tubes Subjected to Axial Compression, Proceedings of the Fifth East Asia-Pacific Conference on Structural Engineering and Construction
- 5)石原一伸, 今野克幸, 上田多門, 大平雅司
正負交番軸方向荷重を受けるコンクリート充填式二重鋼管柱の復元力特性に関する実験的研究, 土木学会北海道支部論文集, 1996年2月

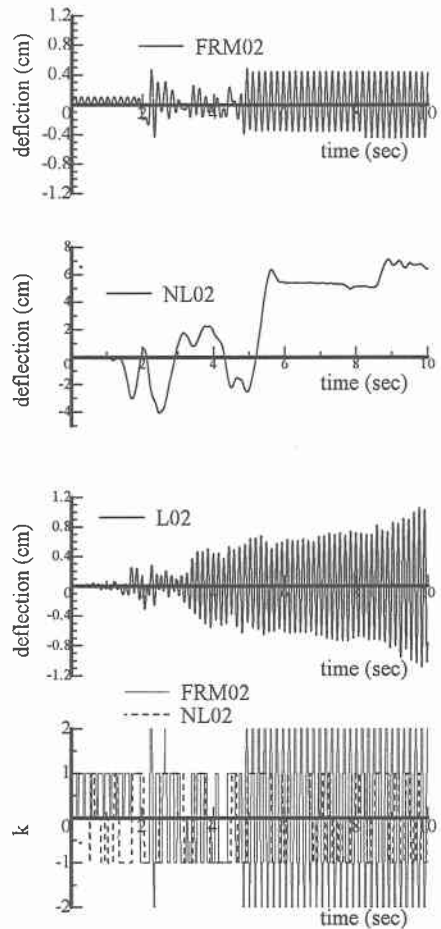


図-10 加速度の大きさを0.8倍した場合