

論文

[2205] 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

今野克幸\*1・上田多門\*2・角田與史雄\*3・大平雅司\*4

1 はじめに

コンクリート充填式鋼管柱はコンクリートを鋼材で拘束することによりコンクリートに非常に大きな強度増加をもたらす。部材としては大きな変形能力を有する[1]。これまでにコンクリートを単鋼管で拘束した部材は数多く用いられ、それらの研究も多く行われている。本研究で扱うコンクリート充填式二重鋼管柱の用途の一例はブレース部材として用いることである。従来引張力に対してのみ抵抗する構造になっているブレース部材の代わりに引張だけでなく圧縮にも抵抗する部材としてコンクリート充填式二重鋼管柱を用いる。この場合、引張に対してはPC鋼棒と外側鋼管が抵抗し、圧縮に対して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のみが抵抗する部材となる。本研究ではコンクリート充填式二重鋼管柱に軸圧縮力を与えた場合の耐力を実験的に評価し、また、外側コンクリートによる拘束効果を考察する。

2 実験概要

本実験では供試体が小さいためにコンクリートの代わりにモルタルを用い、その目標強度は20MPaで普通セメントを使用した。圧縮特性に関する実験であるのでPC鋼棒は配置していない。本研究では表-1に示すように4種類の供試体を用い内側鋼管と外側鋼管の肉厚と外側鋼管の外径を変化させた。WSC01は、標準供試体である。WSC03は外側鋼管を厚くし、WSC04は外側鋼管の径を大きくし、WSC05は内側鋼管を厚くし内側モルタルへの拘束効果、耐力の差を観察する。供試体の形状寸法及び測定点を図-1に示す。荷重方法は単調荷重で供試体の上下に設置した支圧板に荷重することにより内側モルタルにのみ軸圧縮力を与えた。このとき上側支圧板と内側モルタルの間には摩擦による拘束を防ぐためテフロン板を設置したが、下側支圧板とモルタルは施工上の理由で直接接している。ひずみ測定箇所は図-1に示すとおり両鋼管には軸方向にA,B両サイドのそれぞれ6点に2軸ゲージを張り付け、外側モルタルのA,B両サイド2点と内側モルタルの中央1点に単軸埋込型ゲージを設置した。また、内側モルタルと内

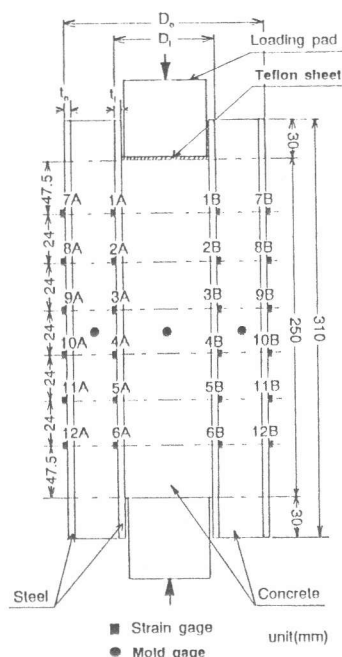


図-1 供試体図

- \*1 北海道大学大学院 工学研究科土木工学専攻、工修（正会員）
- \*2 北海道大学助教授 工学部土木工学科、工博（正会員）
- \*3 北海道大学教授 工学部土木工学科、工博（正会員）
- \*4 トービョウ建設工業（株）（正会員）

側鋼管の間の付着を減ずるためにその境界面にのみ分離材として二硫化モリブデンを塗布した。それぞれの供試体の鋼材とモルタルの材料特性値は表-1に示すとおりである。

### 3 実験結果と考察

図-2にWSC04の外側鋼管降伏時の部材軸方向における内側鋼管、外側鋼管のひずみの分布を示す。 $\varepsilon_{siv}$ 、 $\varepsilon'_{siv}$ は内側鋼管、 $\varepsilon_{soh}$ 、 $\varepsilon'_{soh}$ は外側鋼管のそれぞれ周方向の引張ひずみと軸方向の圧縮ひずみを表す。図中の数字は測定点番号を意味する。図から分かるとおり供試体端部を除いた測定点2~5、8~11の範囲でひずみが比較的似た大きさであり、他の供試体においても同様の結果が得られた。内側モルタルと外側モルタルの部材軸中央に埋め込みゲージを設置しているので、鋼管についても部材軸中央付近に設置した測定点番号3と9を代表値として着目し検討を行った。

表-1 供試体寸法と材料特性値

供試体	WSC01	WSC03	WSC04	WSC05
内側鋼管外径 $D_i$ (cm)	7.63	7.63	7.63	7.63
内側鋼管肉厚 $t_i$ (cm)	0.26	0.26	0.26	0.40
外側鋼管外径 $D_o$ (cm)	13.98	13.98	16.52	13.98
外側鋼管肉厚 $t_o$ (cm)	0.33	0.62	0.68	0.33
肉厚の和 $t_i+t_o$ (cm)	0.59	0.88	0.94	0.73
内側モルタル断面積 (cm <sup>2</sup> )	39.7	39.7	39.7	36.6
外側モルタル断面積 (cm <sup>2</sup> )	93.6	81.8	134.8	93.6
モルタル総断面積 (cm <sup>2</sup> )	133.3	121.5	174.5	130.2
内側鋼管降伏応力 (MPa)	338	297	297	370
内側鋼管ヤング係数 (GPa)	153	159	159	154
外側鋼管降伏応力 (MPa)	363	429	424	363
外側鋼管ヤング係数 (GPa)	179	183	193	179
モルタル圧縮強度 (MPa)	20.7	18.8	19.0	23.5
モルタルヤング係数 (GPa)	15.9	17.1	18.1	18.9

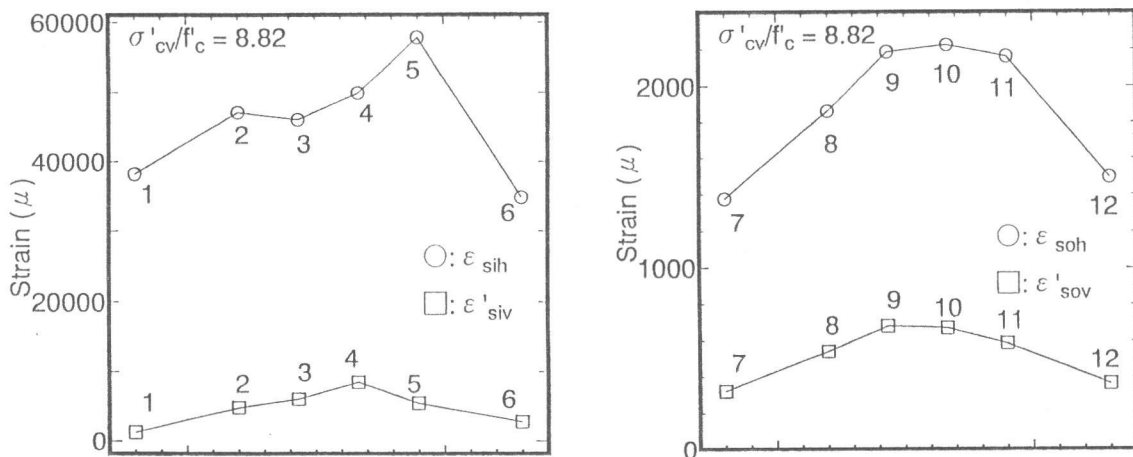


図-2 鋼管のひずみ分布

#### 3.1 部材軸中央の断面内におけるひずみ

図-1に示した測定点3と測定点9での鋼管そして内側、外側モルタルの軸方向ひずみの値（圧縮が正）を図-3に示す。 $\sigma_{cv}$ は荷重を内側モルタルの面積で除した値を表し、 $f'_c$ はモルタルの一軸

圧縮強度を表す。内側モルタルは荷重レベルが初期の段階から両鋼管と外側モルタルに比べ大きな軸圧縮ひずみを示しているのに対してWSC01とWSC05では $\sigma_{cv}'/f_c' \approx 7$ 、WSC03とWSC04では $\sigma_{cv}'/f_c' \approx 10$ まで両鋼管と外側モルタルの軸方向ひずみが概ね等しい値を示している。その後、内側鋼管と外側モルタル、そして外側鋼管の順に大きな値を示し、更にある荷重レベルに達すると外側鋼管の軸圧縮ひずみが減少している。これは両鋼管と外側モルタルは摩擦による効果で軸方向に一体となって変位し、ある限界値に達すると外側鋼管とモルタルの境界ですべりが生じ、それまで外側モルタルの変形に引きずられていた外側鋼管の軸圧縮ひずみが減少したものと考えられる。

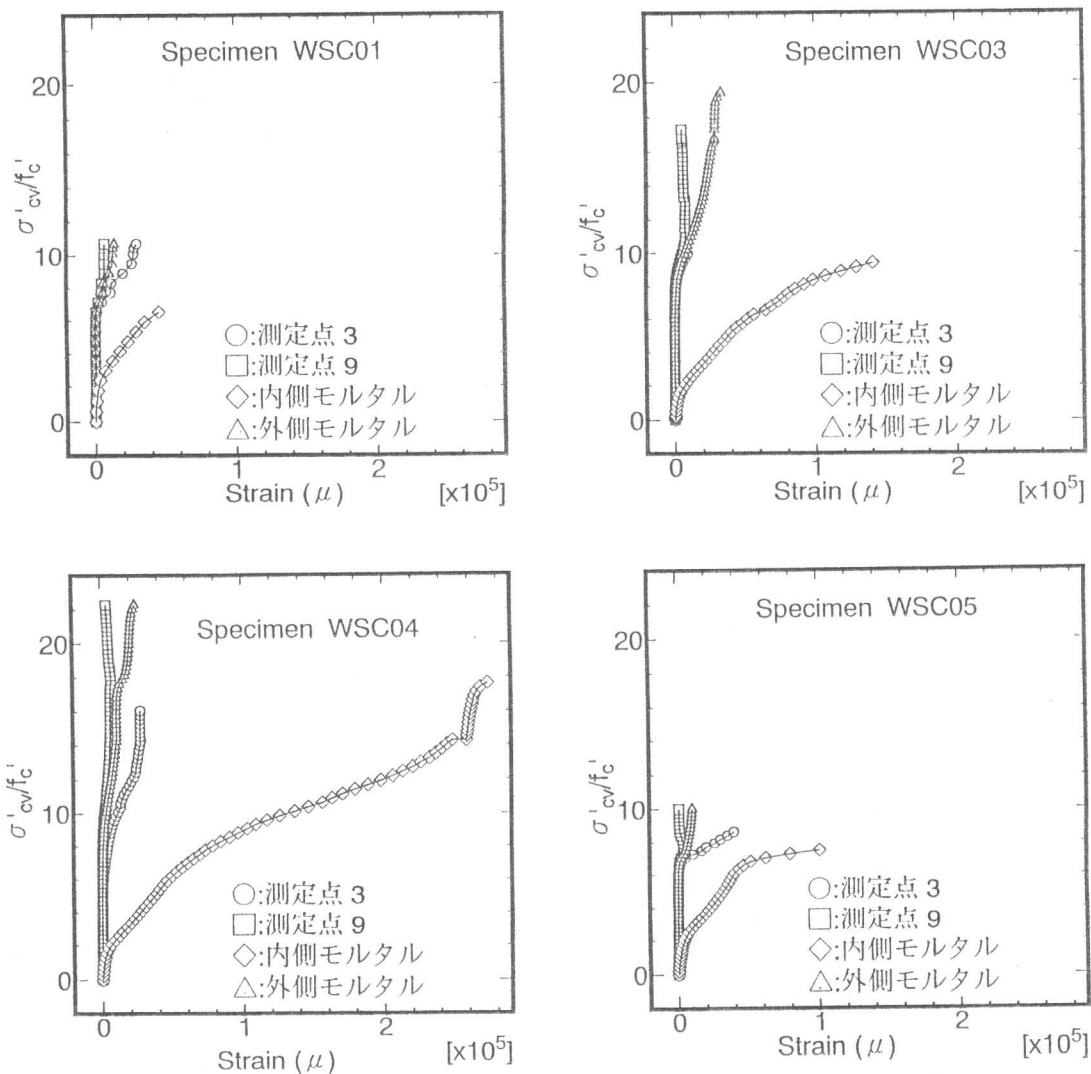
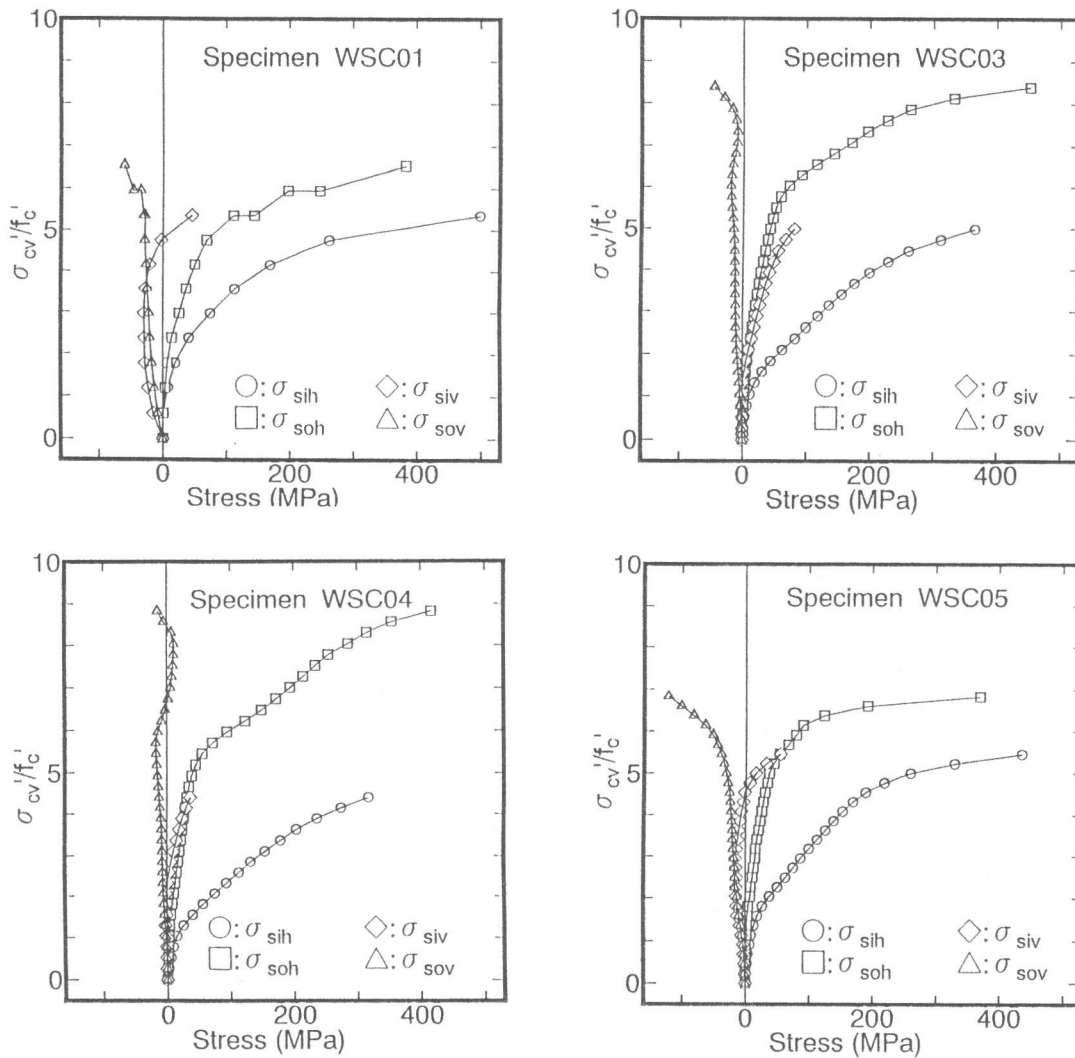


図-3 鋼管とモルタルの軸方向ひずみ

### 3.2 鋼管の応力状態

図-4に各供試体の鋼管降伏時までの鋼管応力を示す。内側モルタルの内圧により鋼管にフープテンションのみが働いていれば鋼管には軸方向応力は存在しない。図-4よりWSC03とWSC04の内側鋼管においては軸方向にも引張応力が働いていることが観察されWSC03においては降伏直前で軸方向に約80MPaの引張応力が生じていることが分かる。WSC01とWSC05の内側鋼管で

は、軸方向に初め圧縮応力が生じているがやがて圧縮応力は減少し引張応力となっている。これは、内側モルタルと内側鋼管の界面における分離材によりモルタルと内側鋼管の間の摩擦力は非常に小さく、内側モルタルの軸方向の変形に対しては内側鋼管が大きく影響を受けないと考えられるので、外側モルタルと内側鋼管の間の摩擦力により内側鋼管の軸方向の変形が抑えられていることによると考えられる。よって、内側鋼管は二軸の引張応力状態となり降伏に至る時の内圧が単鋼管の場合より大きくなるのが期待できる。外側鋼管においては、周方向に引張力を受けるが内側鋼管降伏直後から引張応力が急に大きくなっている。軸方向にはあまり大きくはないが圧縮応力が生じている。



$\sigma_{sih}$ :内側鋼管周方向応力,  $\sigma_{siv}$ :内側鋼管軸方向応力  
 $\sigma_{soh}$ :外側鋼管周方向応力,  $\sigma_{sov}$ :外側鋼管軸方向応力

図-4 鋼管の応力状態

### 3.3 鋼管降伏時の内側モルタルの軸圧縮応力

それぞれの供試体の内側鋼管降伏時、外側鋼管降伏時、そして最終荷重時の  $\sigma_{cv}'$  の値を表-2に示す。[ ]内の値は  $\sigma_{cv}'/f_c'$  を表す。

(1) WSC01とWSC03の比較

WSC01よりWSC03の方が外側鋼管の肉厚が厚く外側鋼管降伏時と最終の $\sigma_{cv}'$ はWSC03の方が大きな値を示している。

(2) WSC03とWSC04の比較

WSC04の外側鋼管外径はWSC03のそれよりも大きい外側鋼管降伏時の $\sigma_{cv}'$ の違いは大きな差が見られない。最終の $\sigma_{cv}'$ はWSC04の方がやや大きく、これは外側モルタルの拘束効果の影響と思われる。

(3) WSC01とWSC05の比較

内側鋼管の肉厚の違いについては内側鋼管の肉厚が1.54倍厚いWSC05の方がより大きな応力レベルで内側鋼管が降伏すると思われるが、実験結果からは両者においてははっきりとした差を得ることはできなかった。

3.4 外側モルタルの応力

図-5に示すように外側モルタルの半径方向の力の釣合を考えると式(1)が得られる。内圧 $p_i$ と外側鋼管から受ける圧力 $p_o$ の平均値を外側モルタルの半径方向圧縮力 $\sigma_{cor}'$ と定義し式(2)とする。式(1)と式(2)より式(3)が導かれる。式(3)を用いて全供試体の外側鋼管降伏時の $\sigma_{cor}'$ を求めるとWSC01は約26MPa、WSC03は約60MPa、WSC04は約56MPa、そしてWSC05は26MPaとなりWSC03とWSC04では $f_c'$ の約3倍の値を示している。外側モルタルに半径方向の高圧縮力が働いても内側鋼管から外側鋼管への応力伝達が行われていると考えられる。 $\sigma_{soh}$ は外側鋼管の周方向応力を表す。他の記号の意味は表-1のとおりである。

表-2 鋼管降伏時と最終の軸圧縮応力

供試体名	WSC01	WSC03	WSC04	WSC05
内側鋼管降伏時 $\sigma_{cv}'$ (MPa) [ $\sigma_{cv}'/f_c'$ ]	111 [5.36]	93.8 [4.98]	83.9 [4.41]	128 [5.46]
外側鋼管降伏時 $\sigma_{cv}'$ (MPa) [ $\sigma_{cv}'/f_c'$ ]	136 [6.55]	158 [8.39]	168 [8.82]	160 [6.82]
最終荷重時 $\sigma_{cv}'$ (MPa) [ $\sigma_{cv}'/f_c'$ ]	235 [11.3]	368 [19.5]	425 [22.3]	235 [10.0]

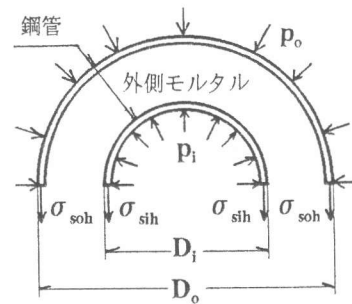


図-5 外側モルタルにおける力の釣合

$$(D_o - 2t_o)p_o = 2t_o\sigma_{soh} = D_i p_i \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$\overline{\sigma_{cor}} = \frac{p_o + p_i}{2} \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$\overline{\sigma_{cor}} = \sigma_{soh} t_o \left( \frac{1}{D_o - 2t_o} + \frac{1}{D_i} \right) \quad \dots\dots\dots (3)$$

### 3.5 内側モルタルの軸圧縮応力とひずみの関係について

図-6に供試体WSC03とWSC04の軸圧縮応力とひずみの関係を示す。なお、横軸の□印のひずみの値は軸方向の変位を載荷前の内側モルタルの高さで除し求めている。内側モルタルの埋込ゲージより得た局所的なひずみの値と、変位計が示した値より求めたひずみの値は概ね一致している。WSC03では50.6%、WSC04では64.6%と非常に大きなひずみの値を示した。内側鋼管、外側鋼管と内側モルタル、外側モルタルの全てのひずみが増加せず荷重だけが增加する現象が見られた。

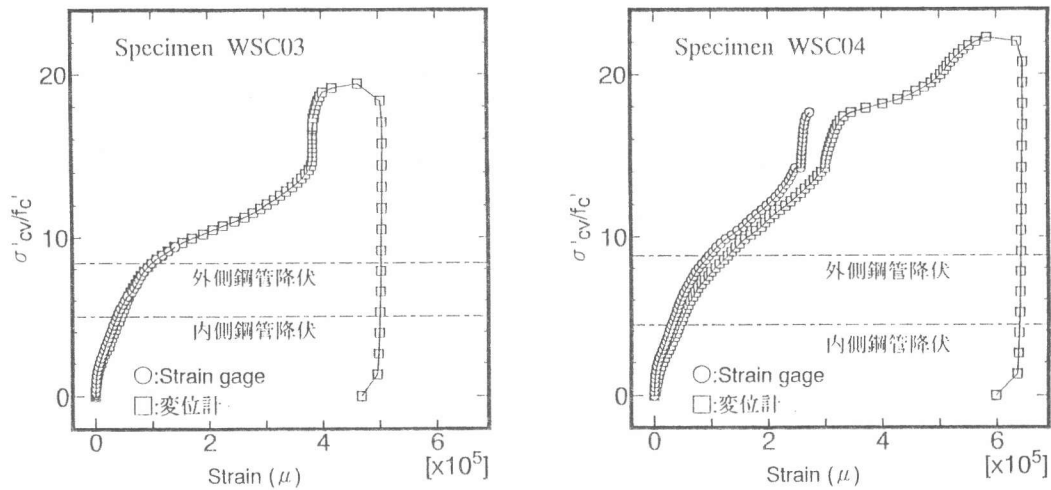


図-6 内側モルタルの軸圧縮応力とひずみの関係

## 4 まとめ

1)本実験においては内側モルタルの軸圧縮応力がモルタル強度の7~10倍の応力レベルまで両鋼管と外側モルタルが軸方向に一体となって挙動し圧縮ひずみが生じた。これは、両鋼管と外側モルタルとの間の摩擦力による合成作用によるものと考えられる。その後内側鋼管、外側モルタル、そして外側鋼管の順に軸圧縮ひずみが大きくなり、鋼管とモルタルの界面ですべりが生じている。

2)内側鋼管は外側モルタルとの摩擦力により軸方向に引張力を受け二軸の引張応力状態となって鋼管がフープ方向の引張応力のみを受けている場合よりも大きなフープ方向引張応力が作用しないと降伏しない。

3)外側モルタルにその一軸圧縮強度の数倍の高圧縮応力が半径方向に生じて内側鋼管から外側鋼管への応力の伝達がなされていると考えられる。

4)外側鋼管の肉厚が厚いと外側鋼管降伏時の内側モルタルの軸圧縮応力が大きくなるが、外側鋼管の外径が大きくなって外側鋼管降伏時の軸圧縮応力はあまり変わらなかった。

5)内側モルタルの軸方向の圧縮ひずみは50%以上の大きな値を示し、内側モルタルの軸圧縮応力とひずみの関係においては、両鋼管と内側モルタルそして外側モルタルのひずみが増加せず内側モルタルの軸圧縮応力のみが増加する現象があった。

## 参考文献

[1]土木学会：鋼・コンクリート合成構造の設計ガイドライン，土木学会，1989.3