

## 論文 再生コンクリートを用いた鉄筋コンクリートはり部材に関する実験研究

西浦範昭\*1・笠松照親\*2・但木幸男\*3・田中礼治\*4

**要旨：**本研究は、コンクリート系構造物の解体時に発生するコンクリート塊の再利用の用途拡大をはかるため、コンクリート塊より造られた再生骨材を鉄筋コンクリート建物の上部構造へ再利用する可能性の検討を目的としている。本報では、粗骨材に再生骨材を使用した再生コンクリートを用いた鉄筋コンクリートはり部材の曲げ、せん断、付着破壊実験を行ない同強度の普通コンクリートを用いたものと対比している。実験結果より、再生コンクリートを用いた鉄筋コンクリートはり部材の力学的性能は、コンクリート強度が同一であれば普通コンクリート部材のそれと同等であることが確認された。

**キーワード：**再生骨材, 再生コンクリート, 鉄筋コンクリートはり, 曲げ破壊, せん断破壊, 付着破壊

### § 1. 目的

産業廃棄物のうち建設廃棄物が占める割合は大きく、環境問題の点からも建設廃棄物の処分は深刻な社会問題となっている。建設廃棄物の最終処分地の設置が難しい現状であり、建設廃棄物の中でコンクリート塊等のコンクリート廃材は最も量が多く、その再利用システムが模索されている。このような状態の中、現在はコンクリート系構造物の解体時に発生するコンクリート廃材の再利用の用途として、その一部は路盤材として用いられている。建築物への利用方法としては、コンクリート廃材から製造される骨材(以下、再生骨材)を用いたコンクリート(以下、再生コンクリート)を鉄筋コンクリート構造物へ利用することが考えられるが、鉄筋コンクリート構造物の上部構造体への使用は許容されていない。コンクリート廃材の利用率を向上させるには、今後、鉄筋コンクリート造建物等の建築躯体への利用を進めていく必要があると考えられる。再生コンクリートを有効利用するための研究として、再生コンクリートの素材に関する材料学的研究は多く行なわれ成果をあげている。しかし、再生コンクリートを用いた

鉄筋コンクリート部材の実験等の構造学的研究に関する報告は少ない。そこで本研究では、粗骨材に再生骨材を用いた、再生コンクリートからなる鉄筋コンクリート造建物の耐震性能に関し実験的に検討し、構造学的観点より再生コンクリートを鉄筋コンクリート造建物へ利用することの可能性を把握することを目的としている。本報では、その第一段階として再生コンクリートを用いたはり部材について基本的要因である、曲げ耐力、せん断耐力、付着耐力に関する力学的特性を把握すると同時に、同一強度の普通コンクリートからなるはり部材とも比較検討している。また、普通コンクリートを対象とした、鉄筋コンクリートはり部材の既往の耐力算定式が再生コンクリートを用いたものにも適用できるかも検討した。しかし、再生コンクリートを鉄筋コンクリート構造へ利用するには、吸水率、有機系不純物などが耐久性に与える影響についても充分検討する必要があるが、それらについては今後の課題として残されている。

### § 2. 試験体概要

試験体種別の一覧を表-1に示した。試験体

\*1 西松建設(株)技術研究所研究部原子力課 工修(正会員)

\*2 西松建設(株)技術研究所研究部長 工修

\*3 東京職業能力開発短期大学校 工博(正会員)

\*4 東北工業大学教授 工学部建築学科 工博(正会員)

は、粗骨材に100%再生骨材を用いた再生コンクリートシリーズ(3体)と、比較用として一般の碎石を粗骨材に用いた普通コンクリートシリーズ(3体)の合計6体である。コンクリート強度は、両コンクリートシリーズともほぼ同一である。各コンクリートシリーズは、破壊形式の違いとして、曲げ破壊型、せん断破壊型、付着破壊型の3種からなっている。試験体の形状、寸法は全試験体とも同一である。形状、寸法を図-1に示した。はり成D=40cm、はり幅B=20cm、試験体区間の長さl=160cm、せん断スパン比(a/D)2.0である。全試験体とも主筋にD32、あばら筋にD10を使用した。各破壊

形式での試験体の引張鉄筋、あばら筋の配筋詳細を表-2に、断面配筋詳細を図-2に示した。断面配筋は試験体の破壊形式により異なっており、主筋の本数とあばら筋のピッチにより破壊形式の違いを調整している。即ち、曲げ破壊型の断面では、主筋を2本とし、あばら筋のピッチを75mmと小さくして曲げ破壊となるように設計しているのに対し、せん断破壊型の断面では、主筋を4本とし、あばら筋のピッチを150mmと大きくしてせん断破壊になるようにしている。付着破壊型の断面では、主筋3本を一段配筋にし、あばら筋のピッチも150mmとし、サイドスプリット型の付着破壊が先行するように設計している。

表-1 試験体種別の一覧

	試験体 No.	使用 コンクリート	コンクリート 強度 (N/mm <sup>2</sup> )	破壊 形式
再生 シリ コン クリ ート 試 験 体	R250-F	再生 コン クリ ート	25.1	F
	R250-S			S
	R250-B			B
普通 シリ コン クリ ート 試 験 体	N250-F	普通 コン クリ ート	25.4	F
	N250-S			S
	N250-B			B

F : 曲げ破壊型      S : せん断破壊型  
B : 付着破壊型

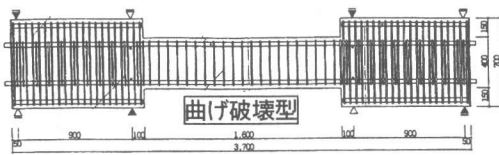


図-1 試験体の形状、寸法の一例

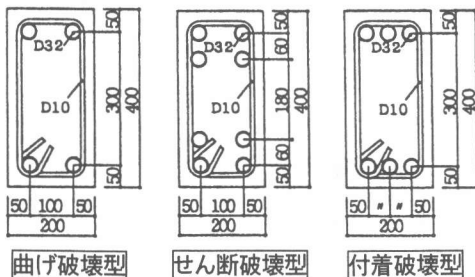


図-2 断面配筋の詳細

表-2 試験体配筋の詳細

破壊形式	引張鉄筋 および 引張鉄筋比	あばら筋 および あばら筋比	共通事項
曲げ 破壊型	2-D 3 2 pt=2.27%	2-D10@75 pw=0.95%	はり成 D=40cm はり幅 B=20cm 試験体スパン l=160cm せん断スパン比 (a/D)2.0
せん断 破壊型	4-D 3 2 pt=4.54%	2-D10@150 pw=0.48%	
付着 破壊型	3-D 3 2 pt=3.41%	2-D10@150 pw=0.48%	

表-3 使用再生骨材の  
試験結果

### §3. 使用材料

#### 3.1 再生骨材

再生骨材は、仙台市内の再生工場から入手したもので、使用した再生粗骨材の試験結果を表-3に示した。文献1の

項目	
表乾比重	2.36
絶乾比重	2.19
吸水率(%)	7.59
洗い損失量(%)	1.24
有機系不純物 混入率(%)	1.75

表-4 文献1の

「再生骨材の暫定品質基準(案)」

区分	A	B
吸水率*(%)	5.0以下	5.0を超え 8.0以下
洗い損失量(%)	1.5以下	
有機系の不純物(%)	1.0以下	

\* 5mm以上の試料について試験した値

「再生骨材の暫定品質基準(案)」に示されている再生骨材の品質基準を表-4に示した。表-3と表-4の比較より、本実験で使用した再生粗骨材は、吸水率、洗い損失量はB種に該当しているが、有機系不純物の混入量は基準(案)値以上になっており、A種、B種のどちらにも属さないものであった。なお、細骨材には川砂を用いている。

### 3.2 コンクリート

再生コンクリートシリーズおよび普通コンクリートシリーズの実験時の性質を表-5に、 $\sigma-\epsilon$ 曲線を図-3に示した。実験はコンクリートの材令29日から36日の間に行った。再生コンクリートシリーズの実験時の圧縮強度は $\sigma_B=25.1\text{N/mm}^2$ 、ヤング係数は $E_c=2.45 \times 10^4\text{N/mm}^2$ であった。比較用の普通コンクリートシリーズの実験時の圧縮強度は $\sigma_B=25.4\text{N/mm}^2$ 、ヤング係数は $E_c=2.54 \times 10^4\text{N/mm}^2$ で、実験時のコンクリート強度およびヤング係数は、若干であるが再生コンクリートシリーズのものより普通コンクリートシリーズのものの方がいずれも大きな値を示している。なお、再生コンクリートのフレッシュ時の状態は、スランプ値18.3cmであった。

表-5 実験時のコンクリートの性質

コンクリート種別	圧縮強度 $\sigma_B$ ( $\text{N/mm}^2$ )	圧縮強度時ひずみ $\epsilon_B$ (%)	ヤング係数 $E_c$ ( $\text{N/mm}^2$ )
再生コンクリート	25.1	0.178	$2.45 \times 10^4$
普通コンクリート	25.4	0.166	$2.54 \times 10^4$

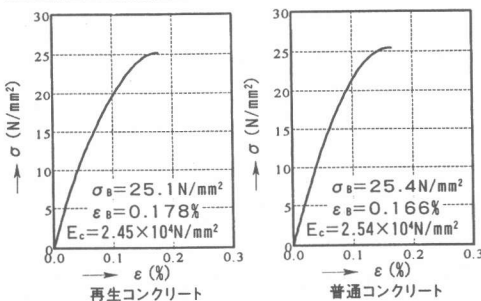


図-3 使用コンクリートの $\sigma-\epsilon$ 曲線

### 3.3 鉄筋

使用鉄筋の機械的性質を表-6に示した。使用鉄筋は全試験体共通で、主筋とあばら筋は異

形鉄筋のD32、D10のそれぞれ同一ロッドのSD345を使用した。降伏点は主筋のD32が $\sigma_y=385.4\text{N/mm}^2$ 、あばら筋のD10が $\sigma_y=363.8\text{N/mm}^2$ である。ヤング係数は主筋のD32が $E_c=1.88 \times 10^5\text{N/mm}^2$ 、あばら筋のD10が $1.91 \times 10^5\text{N/mm}^2$ であった。D32、D10とも明確な降伏点を有する鉄筋である。

表-6 使用鉄筋の機械的性質

鉄筋種別	鉄筋径	降伏点 $\sigma_y$ ( $\text{N/mm}^2$ )	降伏点ひずみ $\epsilon_y$ (%)	引張強さ $\sigma_{tm}$ ( $\text{N/mm}^2$ )	ヤング係数 $E_c$ ( $\text{N/mm}^2$ )
主筋	D32	385.4	0.210	542.3	$1.88 \times 10^5$
あばら筋	D10	363.8	0.190	499.2	$1.91 \times 10^5$

### §4. 加力および変位測定方法

加力装置を図-4に示した。加力は大野式逆対称加力で行ない万能試験機を用いて加力ビームを介して載荷した。載荷は、正負1回ごとに繰り返し、加力の制御は最初の1サイクル目は長期荷重時を想定し主筋の長期許容引張応力度 $f_t=196.1\text{N/mm}^2$ 時の荷重とした。2サイクル目から加力の制御は変形制御とし部材角で行った。R=±3.0/100rad.まではR=0.5/100rad.ごとに、R=±3.0/100rad.を超えてからはR=1.0/100rad.ごとにR=±5.0/100rad.まで実験を行った。変形測定方法を図-5に示した。測定は、試験体中央部の相対たわみを変位計(1/100mm精度)で、主筋とあばら筋のひずみはワイヤーストレインゲージ(検長2mm)で測定した。

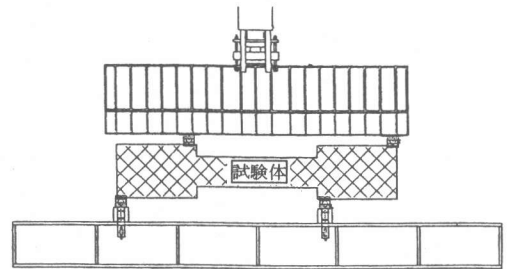


図-4 加力装置

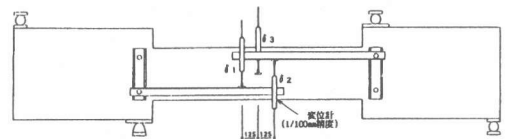


図-5 変形測定方法

## § 5. 実験結果

### 5.1 破壊経過およびQ-R曲線

各破壊型の最大荷重時のきれつ図の一例として、再生コンクリートシリーズのものを破壊形式ごとに図-6に示した。曲げ破壊型試験体は、両コンクリートシリーズとも主筋が曲げ降伏し、その後コンクリートの圧壊による曲げ破壊であった。せん断破壊型、付着破壊型試験体は、両コンクリートシリーズとも、それぞれ主筋の曲げ降伏以前に、上下主筋間に発生したせん断きれつによるせん断破壊、主筋に沿った付着きれつによるサイドスプリット型の付着破壊であった。使用コンクリートの違いによる破壊形状の違いは見られなかった。各破壊形式ごとに使用コンクリートの違いで比較したQ-R曲線を図-7に示した。各破壊形式ともにQ-R曲線はよく近似しており、コンクリート強度がほぼ同一の場合、再生コンクリートと普通コンクリートの違いはなく、同様なQ-R曲線を示すことが確認された。

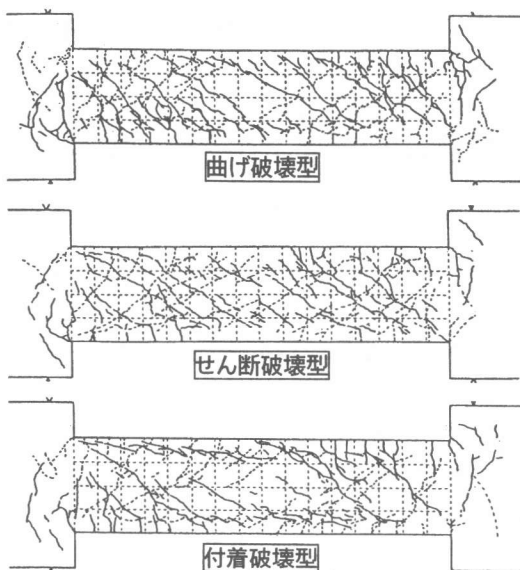


図-6 最大荷重時のきれつ図の一例 (再生コンクリートシリーズ)

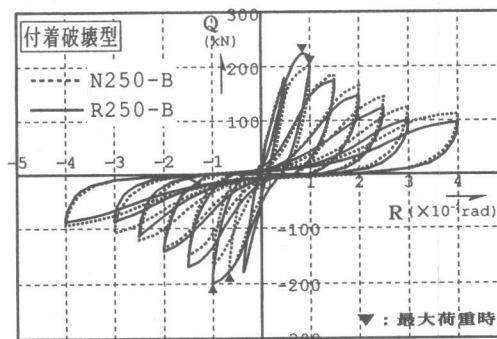
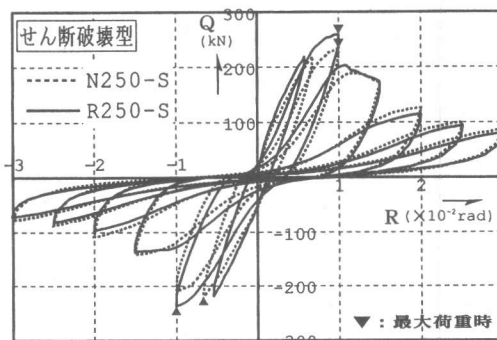
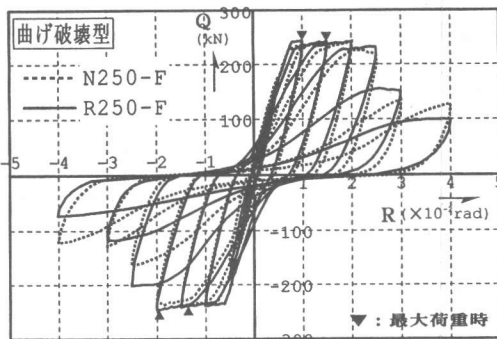


図-7 Q-R曲線の比較

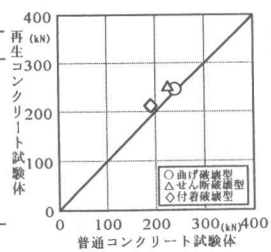


図-8 最大荷重の比較

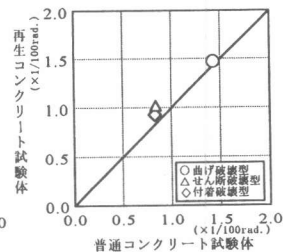


図-9 最大荷重時部材角の比較

### 5.2 最大荷重および最大荷重時部材角

全試験体の最大荷重および最大荷重時部材角

の正側の値と負側の値の平均値について、再生コンクリートシリーズと普通コンクリートシリ

ーズで比較したものを図-8・9に示した。図からわかるように、再生コンクリートシリーズと普通コンクリートシリーズの値は近似したものであった。最大荷重および最大荷重時部材角に関し、コンクリート強度がほぼ同一の場合、鉄筋コンクリートはり部材に再生コンクリートを使用しても、影響がないことが確認された。

### 5.3 等価粘性減衰定数

曲げ破壊型試験体の等価粘性減衰定数を再生コンクリートと普通コンクリートで比較したものを図-10に示した。部材角ごとの等価粘性減衰定数の値は、長期荷重時からR=0.5/100rad.時にいったん減

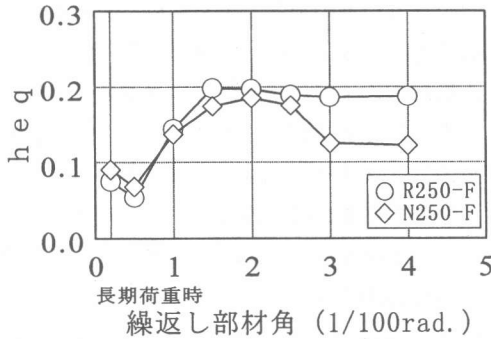
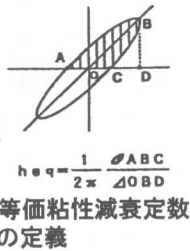


図-10 等価粘性減衰定数の比較

少し、その後増加しR=2.0/100rad.程度にピークを迎える傾向であった。ピーク時の等価粘性減衰定数の値は0.2程度であり、再生コンクリートおよび普通コンクリートとも傾向と値は近似しており使用コンクリートの違いは見られなかった。しかし、R=3.0/100rad.以後の値は、普通コンクリートのものが減少する傾向にあった。このことより、R=3.0/100rad.までは図-7に示したQ-R曲線の再生コンクリートのものと普通コンクリートのもののループ面積は同等であることがわかった。

### 5.4 主筋のひずみ分布

曲げ破壊型試験体の上端筋の主筋ひずみ分布

を再生コンクリートおよび普通コンクリートについて図-11に示した。図は主筋が初めて降伏した荷重階である部材角R=1.0/100rad.時の加力時で比較した。再生コンクリートも普通コンクリートも同様にこの荷重階で降伏している。このサイクルの最大荷重は、両コンクリートシリーズともせん断力が236.8kNと同一で、両者の主筋のひずみ分布は同様な傾向であった。使用コンクリートの違いによる影響はみられなかった。

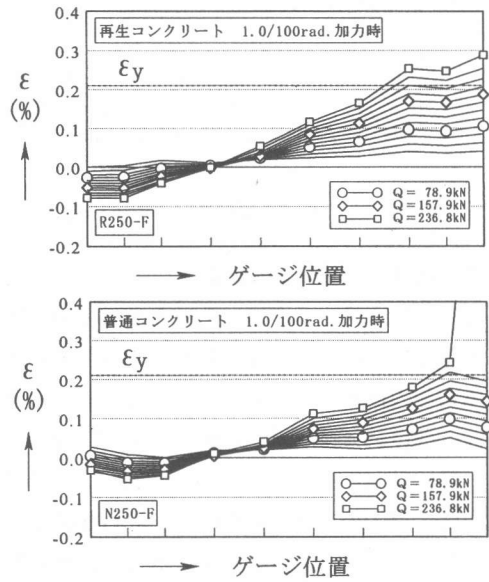


図-11 主筋のひずみ分布

### 5.5 せん断補強筋のひずみ分布

せん断破壊型試験体のあばら筋のひずみ分布を再生コンクリートおよび普通コンクリートについて図-12に示した。図はあばら筋が初めて降伏した荷重階である長期荷重時の加力時を示した。再生コンクリートと普通コンクリートを比較すると、両コンクリートとも、はり材端からはり成D程度中に入ったあばら筋がひずみのピークとなるM字型の性状を示している。はり中央部のあばら筋は再生コンクリートおよび普通コンクリートとも降伏していない。せん断補強筋のひずみ分布において、使用コンクリートの違いによる影響はみられなかった。

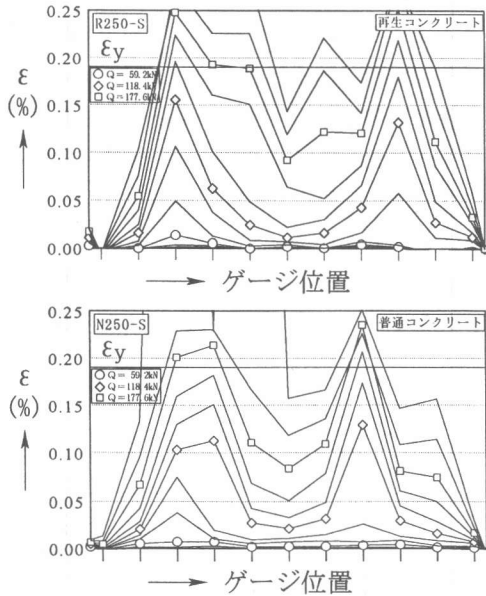


図-12 あばら筋のひずみ分布

### 5. 6 既往の計算式との比較

再生コンクリートを用いたはり部材の最大耐力と普通コンクリートを対象とした既往の強度計算式との比較を図-13に示した。曲げ破壊型は、曲げ終局強度式(文献2)、せん断破壊型は、終局型耐震設計指針A法(文献3)、付着破壊型は、付着強度式(文献4)より求めた値である。曲げ破壊型試験体は相関性がよく、せん断

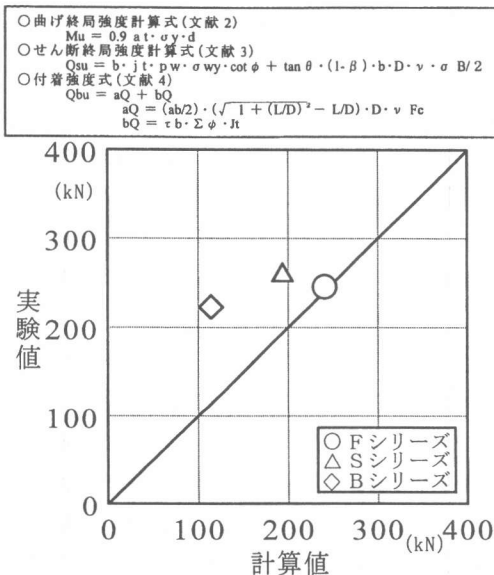


図-13 実験値と計算値の比較

破壊型試験体も比較的相関性がよいといえる。付着破壊型試験体はあまり相関性がよいとはいえないが、全試験体ともに計算値より実験値の方が大きい値であり、普通コンクリートを対象とした既往の強度計算式を用いて再生コンクリートをの鉄筋コンクリート部材の耐力を安全側に評価し得ることが認められた。

### § 6. まとめ

再生コンクリートを用いた鉄筋コンクリートはり部材の曲げ破壊、せん断破壊および付着破壊に関して実験を行ない、ほぼ同一強度の普通コンクリートのそれと比較検討した結果、本実験の範囲内で次のことが認められた。

- ①再生コンクリートのはり部材の曲げ破壊性状、せん断破壊性状および付着破壊性状は、普通コンクリートのそれとよく類似している。
- ②再生コンクリートのはり部材の曲げ耐力、せん断耐力および付着耐力は、普通コンクリートのそれとよく近似している。
- ③再生コンクリートのはり部材の曲げ耐力、せん断耐力および付着耐力は、既往の普通コンクリートを対象とした耐力算定式を用いて安全側で評価できる。

【謝辞】本研究に際し、(株)イズミクリーンには再生骨材をご提供して頂きました。(株)ポゾリス物産の工藤定寛氏には調合でお世話になりました。鴻池組の鳩山順夫氏、東北工業大学の芳賀義喜氏には実験でお世話になりました。ここに記して謝意を表します。

### 【参考文献】

- 1) (財)国土開発技術開発研究センター:建設副産物の発生抑制・再生利用技術の開発報告書,平成6年度
- 2) 日本建築学会:鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説,1988
- 3) 日本建築学会:鉄筋コンクリート造の終局強度型耐震設計指針・同解説,1990
- 4) 森田司朗,藤井栄,奥勝幸:鉄筋コンクリートT梁の耐力と靱性に関する2,3の考察,日本建築学会学術講演梗概集,1988,pp235-236