

SRC 柱と CFT 柱の特性を活かした 鉄骨コンクリートの開発研究

福原 実苗* 南 宏一**

Development Research of Steel Concrete Columns where Characteristic
of Steel Reinforced Concrete columns and Concrete-Filled steel Tube Columns

Minae FUKUHARA* and Koichi MINAMI**

ABSTRACT

At now, "Earthquake-resisting, "Workability", and "Economy" are requested to the building structure. However, there are a lot of "execution of works is difficult" and "The cost is high" of the structural type with a high earthquake-resisting. Then, it is researching of new column systems (called SC columns ; Steel Concrete columns) which show in the following as a development research of the steel concrete column of a new form as a structure to have the earthquake-resistant, the workability, and the economy. It is the best use of the characteristic of SRC columns and CFT column, and is "have internal steel frame" and "The iron frame box shape material was covered only to the capital and column of base". It proposes of above-mentioned columns. In this paper, it is experimentally based of the possibility of the structural system of columns, the construction cost, the consideration point, and achievement and introduces it

キーワード:鉄骨コンクリート, SRC 柱, CFT 柱, 合成柱, 開発研究

keywords : Steel concrete, SRC columns, CFT Columns, Composite column,
Development Research Axial strain

1. はじめに

建築統計年報^{[1]-[3]}などによると, 日本における建築物の建設事情が一変してきている。すなわち, 図 1-1, 図 1-2 に示すように, 2000 年以降では, 着工床面積および着工棟数のいずれにおいても, 従来, 活用されていた SRC 構造が急激に減少するのに対して, RC 構造が SRC 構造の減少分を補う形で急激に採用されていることである。

従来, 6 階以上の中高層建築物は, SRC 構造とする行政指導が行われ, SRC 構造が活用されてきたが, 2000 年の建築基準法の改正にともなって, 高層建築物に対して SRC 造とする行政指導が行われなくなり, かつ, 建築構造の設計技術の進化にともなって, 限界耐

力計算法, あるいは性能設計法の確立, および, RC 構造の鉄筋およびコンクリートに対する材料の高強度化, さらに免震, 制震技術の導入にともなって十分に適正な構造計画および構造設計が, RC 構造で可能となったことが, 高層建築物の構造形式として RC 構造が採用されてきている理由の 1 つとしてあげられている。

このような分析は, 日本鉄鋼連盟においても指摘されており, 高層コンクリート系集合住宅において, 鉄骨の需要は, 今後の状況は期待できないと悲観的な予測が行われている面がある。

そこで, 本研究では, SRC 構造が RC 構造に対して有する, 長所および短所を分析し, 建設コスト(材料コスト, 施工コスト, 設計コストまでを含む)の面からも十分に RC 構造に対峙できる鉄骨鉄筋コンクリート構造

*建築学科 研究員 **工学部建築学科

として、鉄筋(主筋およびせん断補強筋を含む)を除いた、鉄骨コンクリート(SC)構造による合理的な構法を提案し、鉄骨コンクリート構造の特性について基礎実験を行う。

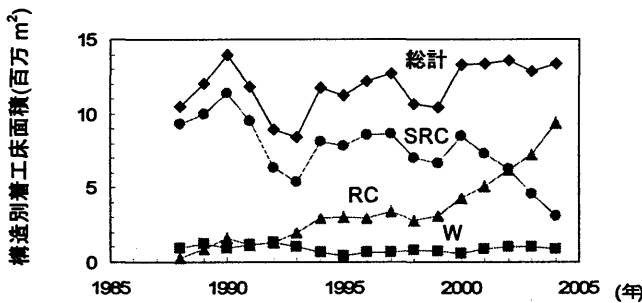


図 1-1 構造別着工床面積の推移(10-15 階)

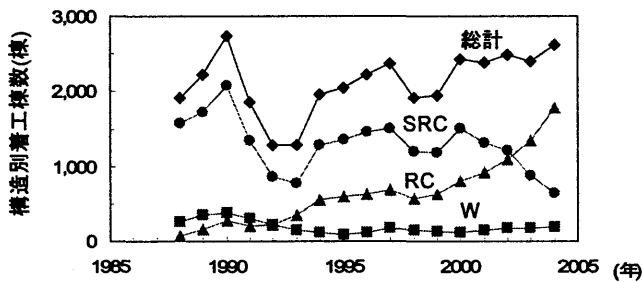


図 1-2 構造別着工棟数の推移(10-15 階)

2. 鉄骨コンクリート(SC)の位置付け

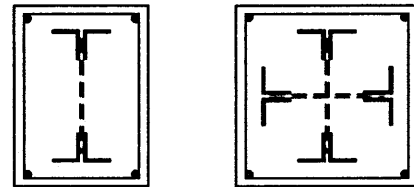
わが国において、戦後の復興期において採用された SRC 構造では、図 2-1 に示すように、鋼材に山形鋼と主筋を併用したもので、その比率は 50%程度とするものが一般的であった。

鉄骨鉄筋コンクリート構造設計基準・同解説(以下、SRC 規準と称す)の第 1 版より、SRC 構造における、曲げ材の鉄骨量と主筋量の割合は任意であり、鉄骨比 $\rho (=s_{a1}/(s_{a1}+r_{a1}))$ が、1 に近づくると鉄骨コンクリート(SC)となり、粘りのある構造になり、 ρ が 0 に近づくると RC としての構造になる事が知られており、鉄骨比を大きくすることによって SRC 構造としての耐力と靱性が向上するものと考えられてきた。そのような状況の中で、今日においても、同じ鋼材量では鉄筋の方が鉄骨に比べて材料的に安価(例えば、鉄筋は鉄骨の半分といわれる場合もある)であるので、出来る限り鉄筋を多用することが、構造コストとしては安価であり、図 2-2 に示すように構造性能(構造的な特性)と施工性能(材料および施工コスト)の両面を考慮した場合の最適解として鉄骨比が 50%程度とされてきたと推測される。

このような設計上での工学的判断をふまえて、戦後から今日まで、鉄骨と鉄筋を併用して SRC 構造が我国の建築構法の 1 つとして発展してきたが、今日に至っては、前述したような事情の中で、SRC 構造が活用さ

れることが極めて減少してきている。

そこで、SRC 構造が RC 構造の類似した性質を持つものとして、位置づけられている主筋を除き、主筋を用いているがための RC 構造の配筋問題やかぶり厚さの問題に対する制約を取り除いて、部材の内部に配置される鉄骨部材の性能を最大限に引き出すことによって RC 構造に対峙する鉄骨コンクリート(SC)構造を開発するものである。



(a) SRC 梁 (b) SRC 柱

図 2-1 山形鋼を主体にした SRC 構造

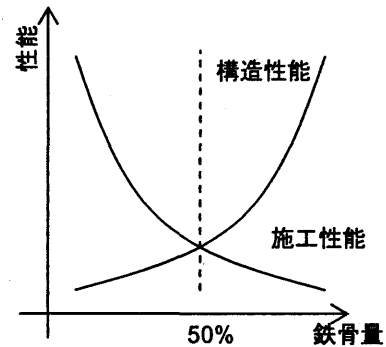


図 2-2 SRC 構造の鉄骨のもつ効果

3. 鉄骨コンクリート(SC)構造の位置づけ

SC 構造を SRC 構造、鉄骨構造および RC 構造と比較した場合、次のように位置づけることができる。

a 鉄骨にコンクリートを巻いた構造 — 鉄骨構造と比較した場合

- ・ 剛性、耐力は高くなる
- ・ コンクリートが耐火被覆を兼ねることができる
- ・ 工期が長くなる
- ・ 建物重量が増加し、コストアップになる

b SRC から鉄筋を抜いた構造 — SRC 構造と比較した場合

- ・ 施工の合理化
- ・ 工期の短縮
- ・ 耐力、剛性が低くなる

c RC の鉄筋の代わりに鉄骨を使用 — RC 構造と比較した場合

- ・ コストアップ(鉄筋単価<鉄骨単価)
- ・ プレキャスト化が困難
- ・ 鉄骨の納期を見込んだ工期が必要

- ・ 在来工法であれば RC 造より施工が合理化できる可能性がある
(配筋がない,あるいは配筋が少ない,梁の吊り型枠,デッキスラブ)

4. 実験計画

4.1 実験概要

本研究では,表 4-1 に示す 6 体の試験体を計画した。変動因子は,载荷する軸力比,柱頭・柱脚部の箱形鋼管の有無および厚みである試験体寸法,十字形鉄骨,せん断補強筋,鉄筋など全て共通とし,試験体形状および寸法を図 4-1 に示す。主筋は,せん断補強筋の固定用とし,耐力に換算しないため,4-D6 と大変軽微なものとし,箱形鋼管部のせん断補強筋はなしとした。

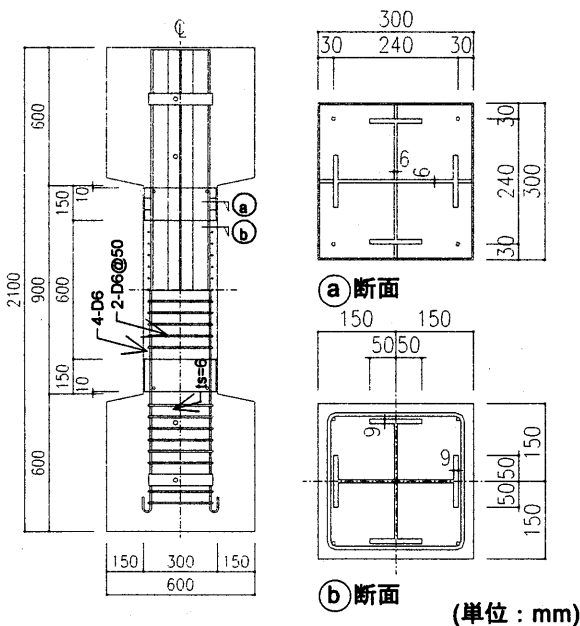


図 4-1 試験体形状および断面形状

4.2 使用材料

使用した鉄骨および鉄筋の機械的性質を表 4-2, 4-3 に示す。コンクリートについては,材齢が 1 週, 4 週, 実験開始前後に圧縮試験・割裂試験を行い, 耐力算定

表 4-2 鉄骨の機械的性質

| 種別 | 厚み (mm) | 材質 | 降伏点 (N/mm ²) | 引張強度 (N/mm ²) | 伸び (%) |
|-------------|---------|-------|--------------------------|---------------------------|--------|
| 鉄骨ウェブ, 箱形鋼管 | 6 | SS400 | 283.3 | 412.8 | 37.4 |
| 鉄骨フランジ | 9 | SS400 | 305.0 | 454.3 | 43.3 |

表 4-3 鉄筋の機械的性質

| 種別 | 径 | 材質 | 降伏点 (N/mm ²) | 引張強度 (N/mm ²) | 伸び (%) |
|--------|----|--------|--------------------------|---------------------------|--------|
| 主筋 | D6 | SD295A | 417.5 | 509.6 | 14.6 |
| せん断補強筋 | D6 | SD295A | 406.7 | 538.6 | 12.2 |

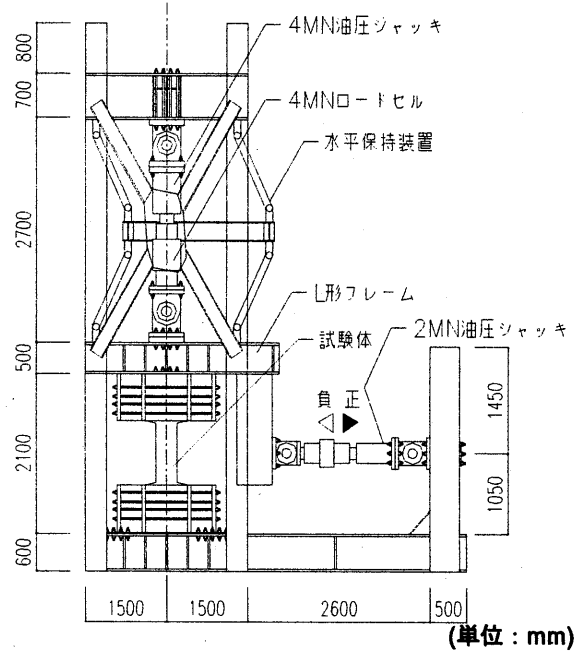


図 4-1 試験体形状および断面形状

に用いるコンクリートの圧縮強度は実験前, 後の平均値 $\sigma_B=36.1\text{N/mm}^2$ とした。

また, 鋼材の降伏点については, 0.2% オフセット耐力によって求めている。

4.3 载荷方法

载荷は, 図 4-1 に示す建研式载荷装置を用いた。载荷は L フレームを介して柱長さの 1/2 の点に水平荷重を作用させる。柱頭の水平変位制御とし, 水平変位および鉛直変位は, 試験体上下端に固定した治具に変位計を 2 個ずつ取り付け測定し, 平均値を用いる。加力

表 4-1 実験計画一覧

| 試験体名 | 試験体番号 | 断面形状 (mm) | H/D | 軸力比 n | Fc | せん断補強筋 | | 鉄骨 | 箱形鋼管 | | | |
|------|------------|-----------|-----|-------|----|---------------|------------------|------|------------------------|------------|---------|---------|
| | | | | | | 本数-径 (材質) | pw (%) | | 厚 ts (mm) | 長さ ls (mm) | (材質) | |
| A-1 | SC00-00-3C | 300 x300 | 3 | +0.3 | 30 | 4-D6 (SD295A) | □-D6@50 (SD295A) | 0.42 | BH-240x100x6x9 (SS400) | - | | |
| A-2 | SC15-06-3C | | | | | | | | | 6 | 150 | (SS400) |
| A-3 | SC15-09-3C | | | | | | | | | 9 | 150 | |
| A-4 | SC00-00-6C | | | - | | | | | | | | |
| A-5 | SC15-06-6C | | | 6 | | | | | | 150 | (SS400) | |
| A-6 | SC15-09-6C | | | 9 | | | | | | 150 | | |

註 1) 軸力比 $n=nc$, $nc=N/b \cdot D \cdot \sigma_B$

註 2) 箱形鋼管のある試験体(A-2,A-3,A-5,A-6)については, せん断補強筋は箱形鋼管内に配筋しない

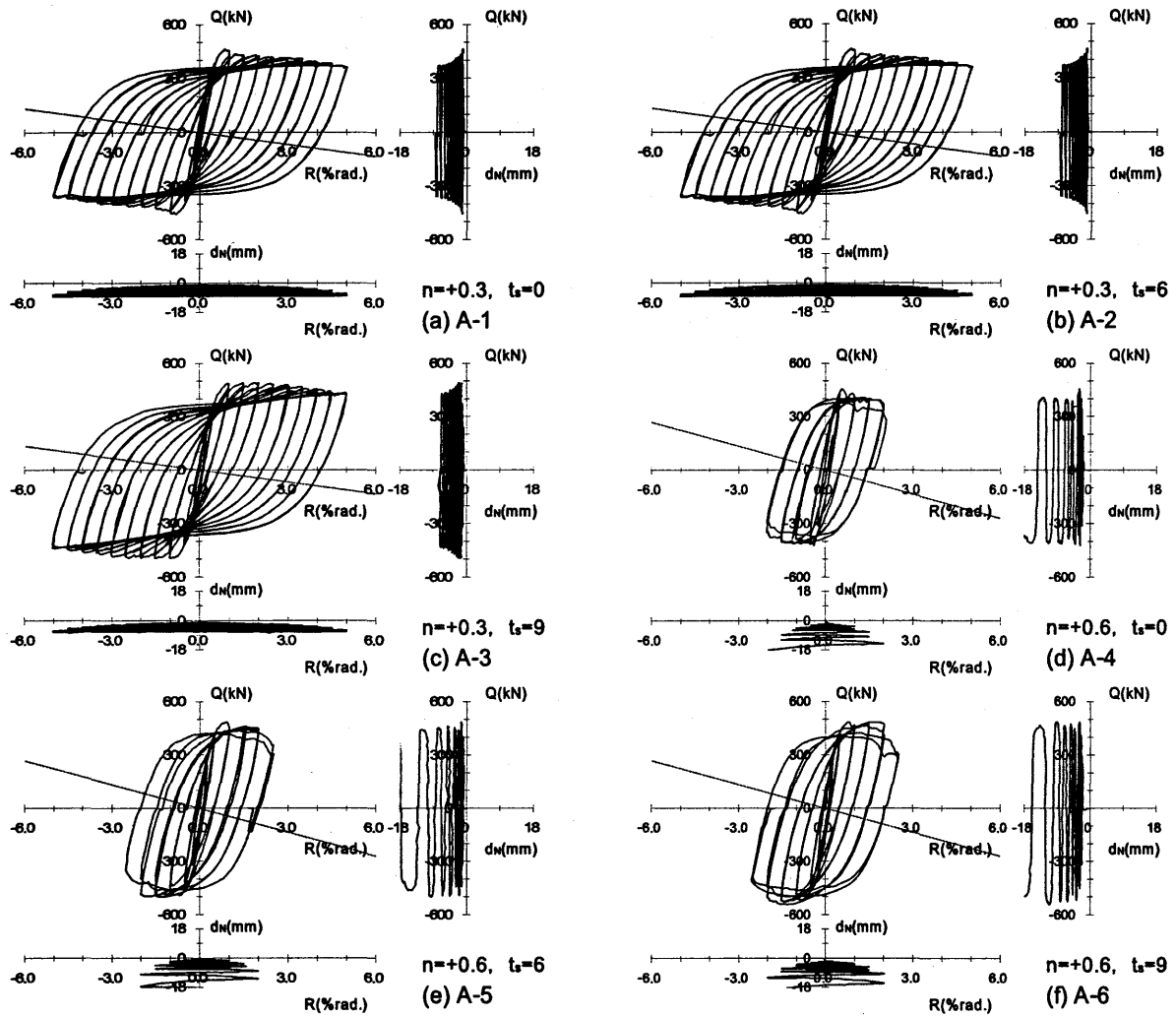


図 5-1 履歴特性および鉛直方向ひずみ状況

サイクルは、変位部材各 $R(d/H)$ による変位制御として、 $R=0.25\%rad$ を正負 1 サイクル载荷を行い、 $R=0.50\%rad$ を正負 2 サイクル行う。その後、 $R=0.50\%rad$ ずつ増加させる毎に各 2 サイクルずつ繰返し载荷を行い、最終材角 $R=5.0\%rad$ まで载荷を行う。また、最大耐力の 70% に耐力が低下した場合、または軸力保持が不能になった場合、その段階で実験を終了する。

5. 実験結果

5.1 履歴性状

図 5-1 に履歴性状および鉛直方向のひずみの推移を示す。荷重-変形曲線では、縦軸に水平荷重 $Q(kN)$ 、横軸に変位部材角 $R(\%rad)$ を示す。破線は軸力による転倒モーメントを考慮した場合の X 軸を示している。鉛直変位の関係では、縦軸に水平荷重 $Q(kN)$ 、横軸に鉛直変位 $d_N(mm)$ と縦軸に鉛直変位 $d_N(mm)$ 、横軸に変位部材角 $R(\%rad)$ とを共に示し、圧縮力による縮みをマイナスとした。また、鉛直変位 d_N が 9mm の時、鉛直ひずみ度は 1% となる。

同一軸力比において、SC 柱の箱形鋼管の厚さが厚いほど、最大耐力は大きくなり、エネルギー吸収能力が大きくなり、鉛直ひずみが小さくなっている。また、高軸力 ($n=0.6$) を载荷した試験体に着目すると、軸力が高いにも関わらず、最大耐力の低下は小さくなり、最終部材角は大きくなっている。

これらのことにより、モーメントが大きくなる柱頭・柱脚部に取り付けた箱形鋼管が有効に働き、最大耐力、変形性能など優れた性能を示していると考えられる。また、履歴性状および変形性能において、箱形鋼管の厚みの違いによる影響はほとんど見られず、箱形鋼管厚 t_s は、6mm 程度で十分有効に働くと考えられる。

5.2 終局時の破壊状況

高軸力 ($n=0.6$) を载荷した試験体の終局時の破壊状況を示す。

箱形鋼管を取付けることにより、柱の破壊状況が短柱化する傾向が見られる。しかし、箱形鋼管を取付けることにより、高軸力下にもかかわらず、最大耐力お

よび最終部材角は大きくなっており、箱形鋼管が有効に働いている。

また、作用軸力が小さい軸力比 $n=0.3$ の試験体についても、同様の傾向が見られる。

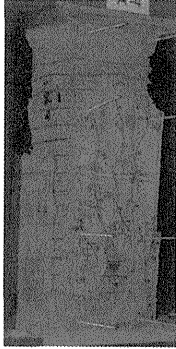

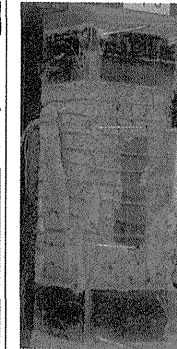
| A-4 | A-5 | A-6 |
|---|---|---|
|  |  |  |
| 箱形鋼管なし | 箱形鋼管厚 $t_s=6\text{mm}$ | 箱形鋼管厚 $t_s=9\text{mm}$ |
| $R_u=2.0\% \text{rad.}(1/50)$ | $R_u=2.5\% \text{rad.}(1/40)$ | $R_u=2.5\% \text{rad.}(1/40)$ |
| $Q_{\max}=482\text{kN}$ | $Q_{\max}=557\text{kN}$ | $Q_{\max}=599\text{kN}$ |

図 5-2 終局時の破壊状況

6. 終局耐力の評価

実験結果と計算値の比較を表 6-1 に、N-Q 相関図を図 6-1 に示す。終局耐力は、文献[4]、[5]をもとに、コンクリートと鉄骨の耐力で算定を行った。また、終局せん断耐力のせん断抵抗機構を図 6-2 に示す。図 6-2 に示すように、鉄骨コンクリート柱の終局せん断耐力は、鉄骨の耐力とコンクリートのトラス機構による耐力の和とする。また、箱形鋼管によるコンクリートの拘束効果は、考慮していない。

柱頭・柱脚部に箱形鋼管をつけることにより、耐力が 10~20%大きくなっており、箱形鋼管により柱端部のコンクリートが拘束されたためと考える。そのため、図 6-2 に示すコンクリートのせん断抵抗機構に柱頭・柱脚部に設けた箱形鋼管の拘束効果を考慮する必要があると考える。

7. まとめ

SC 柱の柱頭・柱脚部の箱形鋼管は、局部座屈は生じておらず、板厚が薄くても十分にコンクリートを拘束していると考えられる。また、箱形鋼管の板厚は、厚いほど最大耐力は大きくなるが、変形性能およびエネルギー吸収能力に大きな違いがみられず、板厚 $t_s=6$ でも十分に効果があると考えられる。

現段階では、箱形鋼管の取付方法の改善および終局耐力の評価方法の検討が必要であるが、変形能力やエネルギー吸収能力に優れた性能を示しており、合理的な構法の可能性が高い。今後、更なる実験および検討

が必要である。

表 6-1 終局耐力の評価

| 試験体名 | 軸力比 n | 最大耐力 Q_{exp} (kN) | | 終局耐力 Q_u (kN) | | 実験値/計算値 Q_{exp}/Q_u | |
|------|---------|----------------------------|-----|-----------------|-----|------------------------------|------|
| | | 正 | 負 | 正 | 負 | 正 | 負 |
| A-1 | +0.3 | 482 | 472 | 388 | 388 | 1.24 | 1.22 |
| A-2 | | 533 | 527 | 388 | 388 | 1.38 | 1.36 |
| A-3 | | 558 | 552 | 388 | 388 | 1.44 | 1.42 |
| A-4 | +0.6 | 482 | 441 | 385 | 385 | 1.25 | 1.15 |
| A-5 | | 528 | 557 | 385 | 385 | 1.37 | 1.45 |
| A-6 | | 522 | 600 | 385 | 385 | 1.36 | 1.56 |

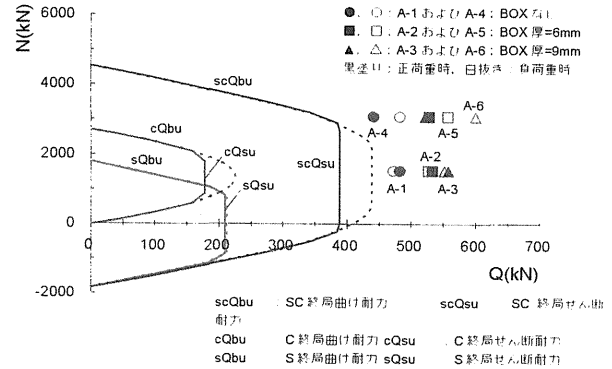


図 6-1 N-Q 相関曲線

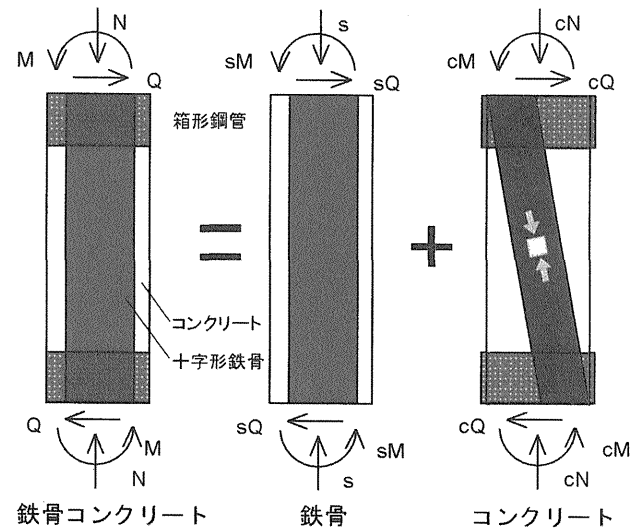


図6-2 せん断抵抗機構

参考文献

- [1] 財団法人 建設物価調査会：建築統計年報，第 55 表，2005.09
- [2] 財団法人 建設物価調査会：建築統計年報，第 51 表，2005.09
- [3] 財団法人 建設物価調査会：建築統計年報，第 59 表，2005.09
- [4] 日本建築学会：鉄骨鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 5 章 保有水平耐力の検討，pp.164-194，2003.05
- [4] 若林實，南宏一，谷資信，平野道勝：新構造学体系 42 合成構造の設計 4 章 鉄骨鉄筋コンクリートの設計，pp.83-209，1986.08