

報告 RC造耐震壁に埋め込まれた鉄骨部材の固定度と履歴性状に関する実験報告

福島 寛二^{*1}・岩渕 一徳^{*2}・前川 利雄^{*3}

要旨：RC造並列連層耐震壁の連結部材をS造とする場合、有効に塑性変形するためには接合部の固定度の確保が必要となる。また、修復性の観点から連結部材の降伏が耐震壁内部に過度に進展することは望ましくない。そこで降伏が両端まで過度に進展しないように両端近傍の断面形状を変えた連結部材の試験体の構造実験と、連結部材と壁の接合部の固定度についての実験を行った。その結果より、H型鋼のフランジを円弧状に切り欠きウェブ中央に水平スチフナを設けた連結部材の性状が最も良く、接合部は鉄骨柱型により補強することが有効であることを示した。

キーワード：並列連層耐震壁, 連結部材, 接合部, 補強, 固定度

1. はじめに

図-1のようなRC造並列連層耐震壁を持つ高層建物において、耐震壁間を連結する水平部材（以下、連結部材と呼ぶ）を高靱性の鉄骨部材とすることによって、地震時の入力エネルギーの多くをその塑性変形により負担させることができるが、連結部材が有効に塑性変形するためには接合部の固定度の確保が必要となる。既往の文献¹⁾において熊谷らは、せん断降伏型鉄骨梁と耐震壁の接合部の補強法について鉄骨柱型を設けることが有効であると述べている。

また、修復性の観点から連結部材の降伏が耐震壁内部に過度に進展することは望ましくない。筆者らは既往の文献²⁾において、H鋼に比較して降伏が両端まで過度に進展しないように両端近傍の断面形状を変えた連結部材の試験体を数種製作し、構造実験を行ったが、フランジを切り欠いたことによる逆対称曲げ塑性座屈が生じ、耐力低下を起こしたことを報じた。

本報では、既報の連結部材を改良して逆対称曲げ塑性座屈を生じにくくした連結部材を開発し、確認実験を行ったことを報じる。さらに、その連結部材と耐震壁の接合方法について、異なる

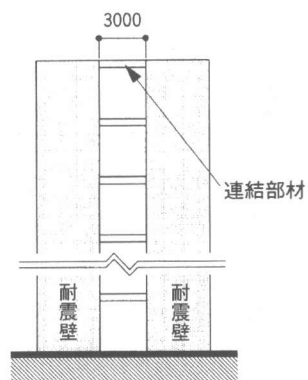


図-1 検討対象構造概要

る2種の接合部試験体の実験を行い、固定度について検討したのであわせて報告する。

2. 連結部材実験

2.1 実験計画

試験体の形状は、センターコア形式の建物の試設計のケーススタディにより得られたH型鋼連結部材の曲げ耐力を基に切り欠き部のフランジ幅を決定し、ファイバーモデルによる曲げ解析から得られた切り欠き区間のひずみ分布から、切り欠き区間長さを決定した。

実験パラメータは、材端近傍の形状であり、

*1 (株)熊谷組技術研究所 建築耐震研究グループ 工修 (正会員)

*2 (株)熊谷組技術研究所 建築構造研究グループ 工修 (正会員)

*3 (株)熊谷組技術研究所 建築耐震研究グループ 工修

表-1 連結部材材料特性

使用部位	材質	厚さ (mm)	降伏強度 (N/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)	降伏比	ヤング係数 (N/mm ²)	伸び率 (%)
No.1 フランジ [*]	SN490B	12	396.3	533.6	0.74	1.98×10 ⁵	38.7
No.1 ウェブ [*]	SM490A	6	367.8	534.3	0.69	2.00×10 ⁵	33.3
No.6 フランジ [*]	SN490B	12	387.1	527.4	0.74	2.07×10 ⁵	36.0
No.6 ウェブ [*]	SM490A	6	424.2	530.8	0.80	1.96×10 ⁵	42.2

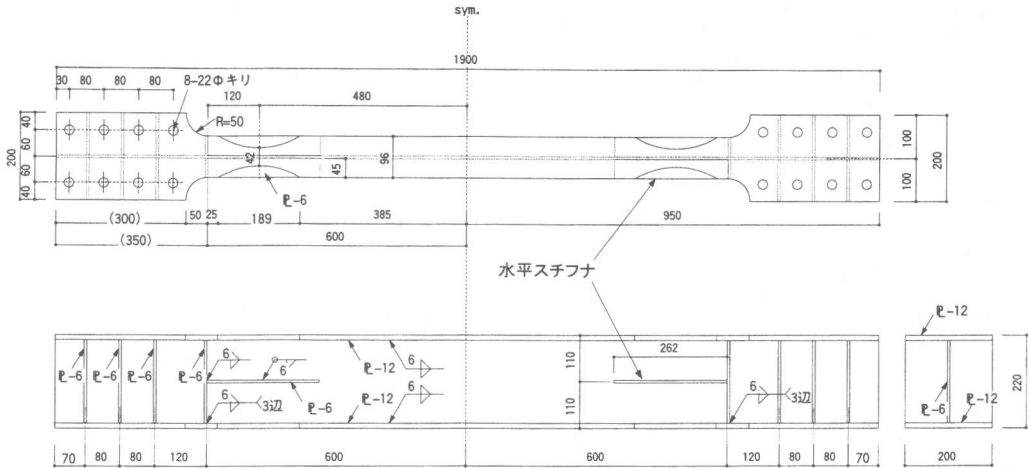


図-2 No.6 試験体概要図

既報²⁾のものを含めた試験体数はNo.1～6の6体である。本報ではNo.1とNo.6について報告する。No.1は切り欠き無し通常のH型鋼である。No.6はフランジを円弧状に切り欠くことにより、塑性歪みを切り欠き部に集中させ、端部の歪みが過度に大きくならないようにし、さらに、切り欠いたことによるウェブの面外への孕み出しを防ぐためにウェブ中央に水平スチフナを設けている。試験体の寸法は、基本的には実大の1/2.5とし、断面寸法はH220x96x6x12とする。試験区間の材長は1200mmである。材質は、フランジをSN490B、ウェブをSM490Aとする。表-1に鋼材の材料試験結果を、図-2に試験体No.6の概要図を示す。

加力には建研式加力装置を用い、逆対称曲げせん断加力とする。材軸方向は非拘束とする。荷重の計測はアクチュエータのロードセルで、変位の計測は加力制御用水平変位及び鉛直方向変位について行う。フランジには、軸方向の分布が追えるように1軸塑性歪みゲージを貼付し

た。加力は変位漸増繰り返し加力とし、加力スケジュールは、部材角 $R = \pm 1/400, \pm 1/200, \pm 1/100, \pm 1/50, \pm 1/36, \pm 1/25, \pm 1/20, \pm 1/15$ とする。各加力サイクルでの繰り返し回数は、1/50までは各1回、1/36以降は各2回とした。

2.2 実験結果

図-3に荷重—変形関係を示す。各試験体の実験結果は以下の通りである。通常のH型鋼であるNo.1は、最終サイクルに到るまでフランジの塑性座屈は見られず、荷重低下のない紡錘形の良い履歴性状を示した。No.6は逆対称曲げ塑性座屈を防止するためにウェブ中央に水平スチフナを加えたものである。履歴性状はNo2～6の中で最も良く、 $R = \pm 1/20\text{rad}$ まで耐力低下は見られなかった。 $R = 1/15\text{rad}$ のサイクルで切り欠き部の最もくびれた部分のフランジとウェブの溶接部で繰り返しによる亀裂が生じ、若干耐力低下が生じたが、総じて、良い紡錘形の履歴であると言える。また僅かなねじれは生じたものの塑性座屈には至らなかった。

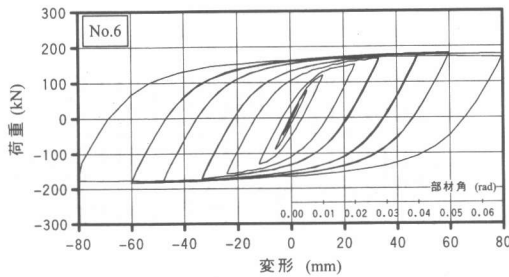
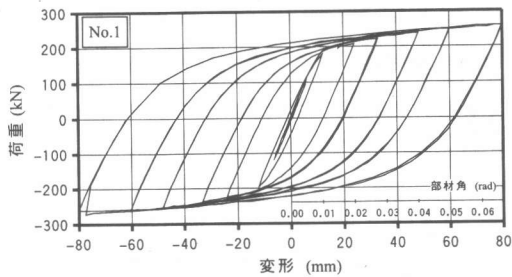


図-3 荷重変形関係

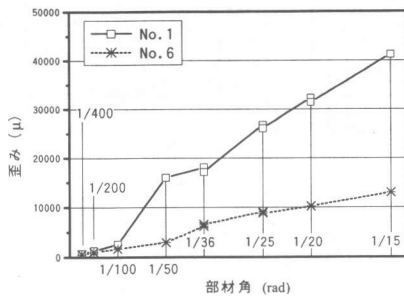


図-4 材端から10mm位置でのフランジ歪み

図-4に、材端より10mmの位置のフランジ中央の歪みを、正側載荷時の各部材角についてプロットした図を示す。全荷重サイクルにおいてNo.6の材端歪みがNo.1に比して小さくなっていることがわかる。

2.3 連結部材実験よりの結論

フランジの切り欠き形状を円弧とすることで、通常のH型鋼に比べて材端部に生じる塑性歪みを低減することができる。また、切り欠き区間を補強する水平スチフナを設けることにより、ウェブの面外方向を拘束し、逆対称曲げ塑性座屈を防止することができ、耐力低下を防ぐことができる。

この実験より、No.6タイプの鉄骨部材が並列

連層耐震壁間の連結部材として十分な性能を持つことが確認された。

3. 接合部実験

3.1 実験概要

連結部材が耐震壁に埋め込まれて接合された場合、接合部を含めた連結部材の履歴性状は、接合部固定度に応じて連結部材単体の履歴性状よりも劣化する。従って、接合部は固定度の高い事が望まれる。そこで、接合方法の異なる2種の試験体を製作し、固定度と履歴性状の比較を行った。なお、事前の試設計モデルによる検討から、連結部材と接合部は $R=1/36$ を要求変形性能とする。

3.2 実験計画

3.2.1 試験体

試験範囲は図-5に示す試設計建物の連結部材の半スパンとその接合部とし、最上層部を想定

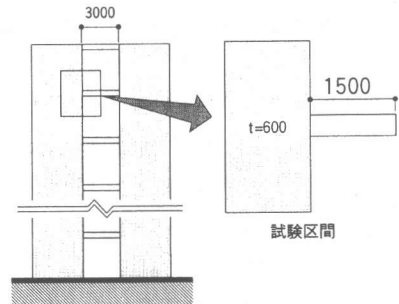


図-5 接合部実験の検討対象範囲

する。これは上層部ほど低軸力、低強度コンクリートであるため、最上層部は最も接合部支圧耐力が低いからである³⁾。本実験では安全側で軸力は0とする。スケールは連結部材No.6と同縮尺の1/2.5とする。試験体概観を図-6に示す。連結部材はNo.6試験体と同一形状とする。試験体数は2体で、連結部材の埋め込み部を図-7(a)のように部材せい220mmの2倍の深さまで同一断面のまま伸ばしたWJ-Aと、図-7(b)のようにWJ-AにH型鋼の柱型を設けて補強したWJ-Bとする。WJ-Bの柱型の断面は、鉄骨鉄筋コンクリート構造計算規準に準じて、連結部材切り欠

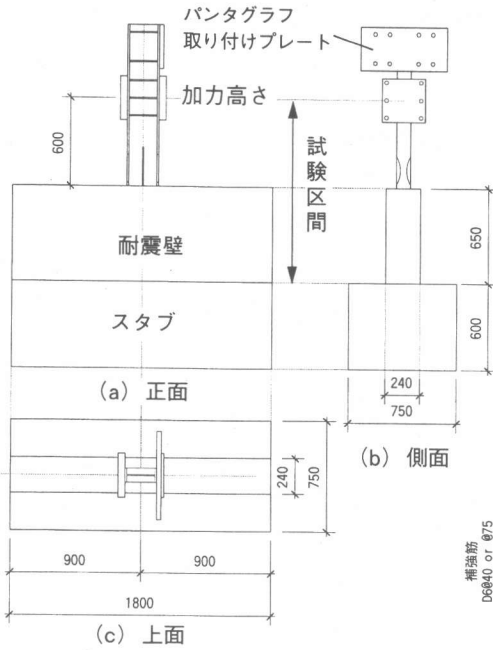


図-6 試験体概観(WJ-A, B 共通)

き部が全塑性となったときのダイヤグラムでのモーメントを0.4倍した値と、左右2本の柱型の全塑性モーメントが等しくなるように決定した。壁の配筋はWJ-Aでは試設計相当とし、WJ-Bでは柱型の押えとするため連結部材近傍の配筋を密にした。配筋図を図-8に示す。コンクリート、鉄筋、鉄骨の材料特性をそれぞれ表-2, 3, 4に示す。コンクリートの調合強度は 30N/mm^2 とした。

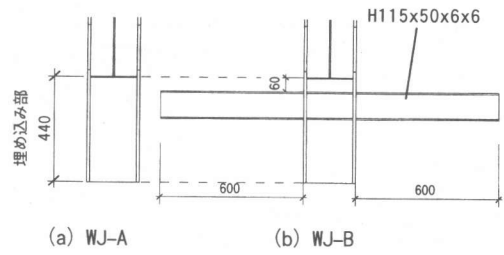


図-7 連結部材埋め込み部

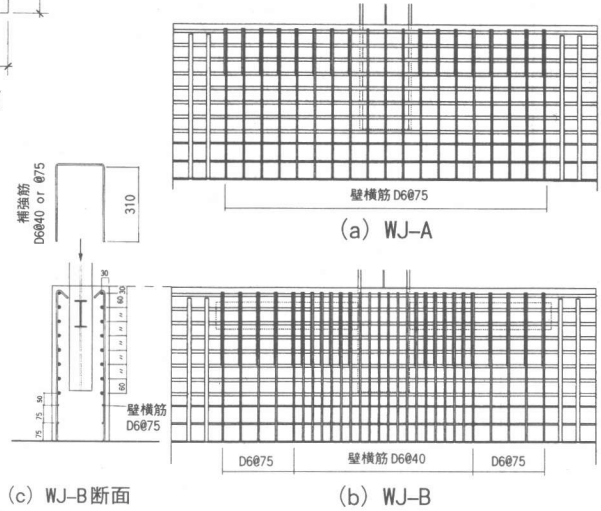


図-8 耐震壁配筋

表-2 コンクリート材料特性

試験体No.	材齢	圧縮強度 (N/mm^2)	引張強度 (N/mm^2)	ヤング係数 (N/mm^2)	比重 (kN/m^3)
WJ-A	28日	27.4	2.23	2.13×10^4	22.2
WJ-B	12日	32.7	2.29	2.54×10^4	23.3

表-3 鉄筋材料特性

試験体No.	使用部位	呼び径	材質	降伏強度 (N/mm^2)	引張強度 (N/mm^2)	降伏比	ヤング係数 (N/mm^2)
WJ-A	壁筋, 補強筋	D6	SD295A	340.3	437.5	0.78	1.63×10^5
WJ-B	壁筋, 補強筋	D6	SD295A	399.7	545.6	0.73	1.86×10^5

表-4 鉄骨材料特性

試験体No.	使用部位	材質	厚さ (mm)	降伏強度 (N/mm^2)	引張強度 (N/mm^2)	降伏比	ヤング係数 (N/mm^2)	伸び率 (%)
WJ-A	連結部材フランジ	SM490A	12	364.3	507.8	0.72	2.13×10^5	41.6
	連結部材ウェブ, 柱型フランジ, ウェブ	SM490A	6	340.3	507.8	0.67	2.00×10^5	33.0
WJ-B	連結部材フランジ	SM490A	12	357.7	537.5	0.67	2.09×10^5	41.6
	連結部材ウェブ, 柱型フランジ, ウェブ	SM490A	6	389.5	550.1	0.71	1.99×10^5	34.7

3.2.2 加力方法

図-9に加力装置図を示す。加力位置は連結部材の半スパンである、壁から600mmの高さとする。加力軸がずれたり、試験体にねじれが生じたりしないように変位を拘束するパンタグラフを頂部に設けた。主な変位計は連結部材脚部の回転を計測するために、脚部4隅の鉛直方向に設け、脚部水平変位を計測するために壁上面から20mmの位置に加力方向に1つ設けた。制御変位は加力芯とし、変位制御で正負交番繰り返し载荷をした。加力スケジュールは連結部材実験と同様とした。

3.3 実験結果

3.3.1 実験経過

接合部試験体 WJ-A,B の荷重変形関係を連結部材 No. 6 の荷重変形関係と重ねて図-10に示す。連結部材試験体は材長が接合部試験体の2倍であるので、変位は半分の値を示した。実験経過は以下の通りとなった。WJ-A は $R=+1/400$ のピーク時に壁上面に連結部材フランジに平行にひび割れが生じ、 $R=+1/100$ 载荷時に壁側面の部材フランジ間のコンクリートにせん断ひび割れが生じた。その後 $R= \pm 1/36$ サイクルの終了まで壁側面にひび割れが徐々に発生し、2回目の $R= \pm 1/25$ のサイクルで壁上面の連結部材近傍のカバーコンクリートの剥落が発生した。その後 $R=1/15$ サイクルまで剥落は徐々に進行したが耐力低下には至らず実験終了した。WJ-B は $R=+1/200$ のサイクルで連結部材フランジ近くの壁上面から側面に走るひび割れが生じ、 $R=-1/100$ 载荷時に壁側面に鉄骨柱型の材軸に沿ってひび割れが生じた。その後 $R= \pm 1/25$ サイクル

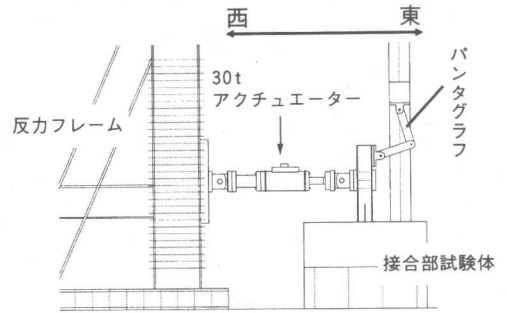


図-9 加力装置図

の終了まで徐々にひび割れが進展したが、WJ-A のようなカバーコンクリートの剥落は無く、 $R= \pm 1/25$ 以降は新たなひび割れは生じずに $R=1/15$ サイクルまで耐力低下には至らず実験終了した。試験終了後のひび割れ図を図-11に示す。

3.3.2 履歴と固定度

図-10の荷重変形関係を見ると、WJ-A は WJ-B に比べて履歴面積が小さい。これは WJ-A は脚部コンクリートの損傷が大きく、全体変形に占める鉄骨変形の割合が小さかったためである。図-12に各サイクルの正負ピーク時の変形成分を求めたものを示す。変形成成分の分離は以下のようにして行った。まず脚部の両フランジの浮き上がりの計測結果から脚部のロッキング成分を求め、さらに脚部のスウェイ変形の計測結果を用いて、加力点変形からロッキング成分とスウェイ成分を差し引いて連結部材変形成分とした。図-12を見ても WJ-B に比べ WJ-A は脚部の変形成分が大きく、コンクリートによる拘束が劣化していることがわかる。特に $R=1/25$ のサイクルからは同じ変形での繰返しでも脚部変形成分が大きく増加している。これは実験経過でのカバーコンクリートの剥落の発生時期とも対応

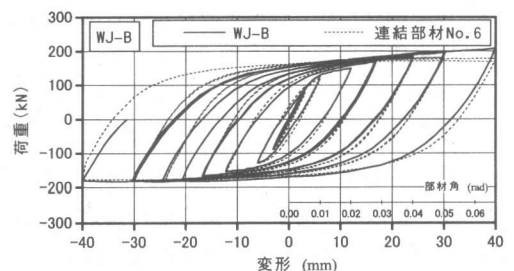
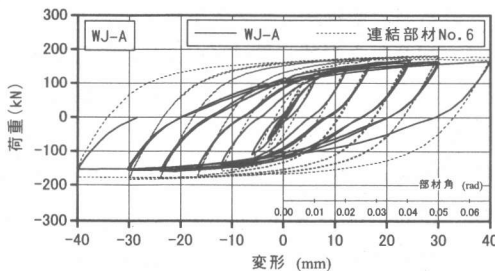


図-10 荷重変形関係

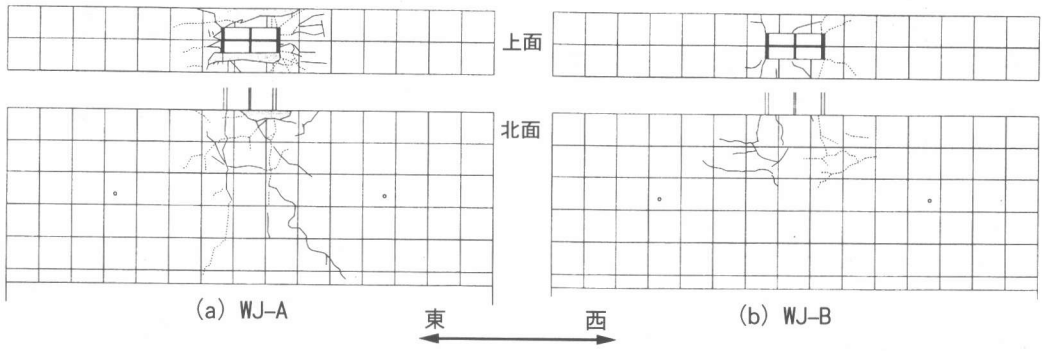


図-11 実験終了時ひび割れ図

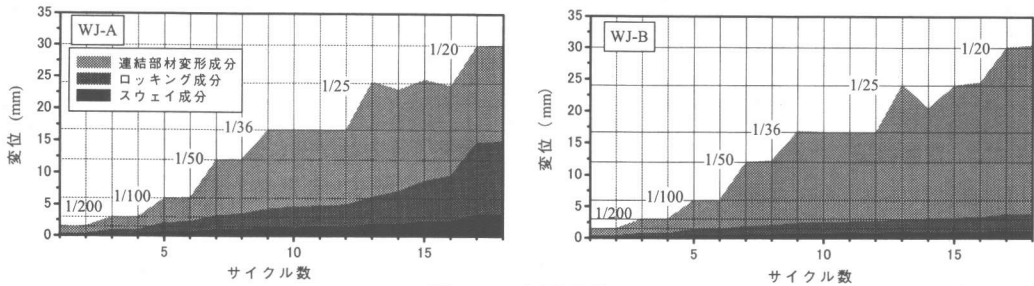


図-12 変形成分

している。しかし $R=1/36$ までは同一変位のサイクルで脚部の繰返し劣化は生じなかった(図-13参照)。一方WJ-Bは荷重変形関係はほぼ連結部材No.6と同じであり、変形成分も $R=1/15$ のピーク時で鉄骨変形成分が8割強を占め、鉄骨柱型の補強が非常に有効であることがわかる。

4. 結論

以上より、次のような知見を得た。

- 1) フランジの切り欠き形状を円弧とし、水平スチフナを切り欠き区間に設けた鉄骨部材は $R=1/15$ の大変形に対しても塑性座屈を生じず、並列連層耐震壁間の連結部材として十分な性能を持つ。
- 2) 連結部材に鉄骨柱型を設けた接合部は固定度を確保するのに有効である。
- 3) 試験体WJ-Aの接合部は所要の $R=1/36$ までは繰返しによる固定度の劣化は無く、要求性能に応じた使用が可能であろう。

今後の課題は、補強無し接合部の固定度の評価法の確立と、柱型を設けた接合部の補強筋の配筋設計の確立である。

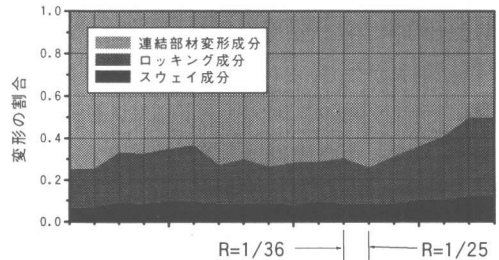


図-13 図-12のWJ-Aの変形成分比

参考文献

- 1) 熊谷仁志ほか:鉄骨梁および鋼材ダンパーで連結された連層耐震壁架構に関する研究, コンクリート工学年次論文報告集, Vol. 21, pp. 355-360, 1999.9
- 2) 岩淵一徳ほか:ドッグボーン形式H型鋼の切り欠き形状に関する実験的研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造 III, pp. 493-494, 2000.9
- 3) Marcakis, K. and Mitchell, D.:Precast Concrete Connections with Embedded Steel Members, PCI Journal, Vol.25, No.4, pp.88-116, July/Aug. 1980