

ニュージーランドとアメリカにおける PC 圧着工法

西山 峰広*

はじめに

部材をプレストレス力により接合し、骨組を構築する圧着接合工法は、以前は、施工上の要求により採用されることが多かったが、最近では、地震を受けて、部材が塑性変形した場合でも残留変形が小さいというすぐれた構造性能や、循環型社会への対応も注目されるようになってきた。これに伴い、圧着接合を利用した新しいプレキャストシステムが国内外で提案・開発されている。本稿では、ニュージーランドとアメリカでの圧着工法の研究・実施例および基標準での取り扱いなどに関してまとめる。

ニュージーランド

ACI Journal 1971年9月号に掲載された「Seismic Resistance of Prestressed Concrete Beam-Column Assemblies」¹⁾は、プレテンションによりプレストレスを導入した柱に、同様にプレストレスを導入した梁を圧着した実大ト型接合部に対する載荷実験について報告している。R. Blakeley and R. Park によって行われたこの実験におけるパラメータは、横拘束筋量と、塑性ヒンジの位置（柱ヒンジまたは梁ヒンジ）である。本実験は、1968年に完成した建物の構造性能を確認するために、その建物の竣工後に実施された。当時、このような構造形式の建物の設計は、基標準に規定がなく、したがって、建物建設当時は、“outside the code”（基準対象外）として取り扱われた。その建物は、40年近く経った現在も、ニュージーランドのカンタベリー大学 Student Association Building として使用されている、カフェテリアや店舗などが入る2階建ての施設である（写真-1）。

上記の研究は、圧着工法に関する初期の研究ではあるが、最初の研究ではない。世界的に見れば、坂静雄先生に始まり、猪俣俊司先生、中野清司先生、六車熙先生の研究に受け継がれていく、日本における研究の展開が、黎明期のプレキャストプレストレスコンクリートの世界的な発展を牽引したことになる。また、Student Association Building は、

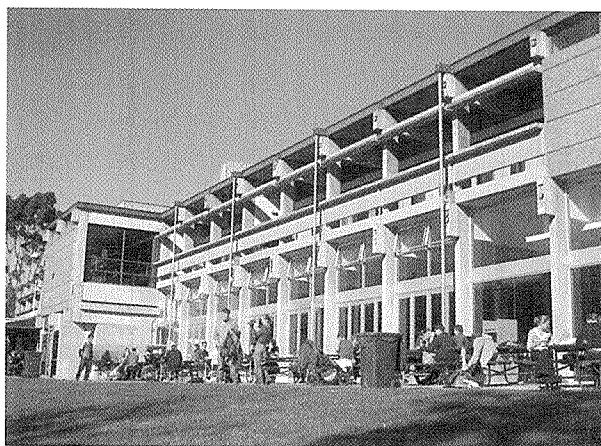


写真-1 Student Association Building, University of Canterbury, New Zealand (Courtesy of Mr. Des Bull)

圧着工法が使用された初期の建築例ではあるが、1957年日本で初めて不静定柱梁骨組にプレストレスが導入された淡路島の南淡町役場²⁾を耐震架構の最初の例としてあげることができる。この建物では、あらかじめ所定のプレストレス力が導入されたプレキャスト PC 梁を柱に仮置きした後、梁の PC 鋼棒に接続した圧着用 PC 鋼棒を PC 梁の導入プレストレス力よりもわずかに大きな力で緊張することにより、圧着面に不静定応力が発生することなく、PC 梁と同じ大きさのプレストレス力が骨組に導入される。

ニュージーランドでは、カンタベリー大学の R. Park 先生により、プレストレスコンクリートに関する先進的な研究が数多く行われてきた。日本と同様、地震国ということもあり、耐震性能に重点を置く研究が多い。しかしながら、実際の建築例ということになると、プレテンション部材を用いた建物は多いが、ポストテンション法を用いてプレストレスを導入した建物は数少ない。ニュージーランドでは、1960年代後半と1970年代前半に、この Student Association Building と同様に、ハンドリングをよくする目的のために、プレテンション法によりプレストレスを導入した柱と梁を、ポストテンションにより接合して骨組を構築する例がいくつか見られた。しかしながら、通常の鉄筋コンクリートの方が、経済的で、簡便であるとの認識から、現在では、ニュージーランドで建設されるほとんどすべての柱梁骨組は、プレキャスト鉄筋コンクリート造となっている。

上に紹介した Blakeley らの実験では、履歴復元力特性に重点が置かれていた。柱にもプレストレスが導入されているため、梁ヒンジ、柱ヒンジにかかわらず、変形が小さい範囲では、PC 部材特有の原点指向型の履歴ループとなる。



* Minehiro NISHIYAMA

京都大学大学院 工学研究科
都市環境工学 専攻

しかし、変形が大きくなりコンクリートが圧壊するようになると、履歴ループが太ってきて、かなりの履歴エネルギー吸収が期待できるとしている。コンクリート圧壊による履歴エネルギー吸収増大が許容できるか否かには議論の余地があるが、耐震部材として利用可能であると結論づけている。

上記の実験と、これに続く K. J. Thompson らのカンタベリー大学における研究成果³⁾に基づき、NZS 3101 : 1982 のプレストレストコンクリートに関する条項が制定された。ニュージーランドのコンクリート構造物設計基準である NZS 3101 は、ACI Code を基礎にしているが、プレストレストコンクリートに関しては、接合部パネルの設計法が整備されているなど、先進的な基準となっている。とくに、つぎのような記述は、圧着工法を利用する上で注目に値する：「PC 鋼材が断面中央に集中して配置されているよりも、断面縁付近に配置されている方が、靱性的な挙動が期待できる。また、断面中央付近にも接合部コアのせん断力を負担するため PC 鋼材を配置することが望ましい。」これをさらに発展させたつぎのような考え方により、PC 鋼材に対する導入率を変化させ、さらに、アンボンド鋼材を用いた試験体を製作し、載荷実験が行われている⁴⁾：「梁断面縁近傍に配置される鋼材は、その破断と圧縮側コンクリートの圧壊による大きな耐力低下さえ防止できるならば、履歴エネルギー消費の点から降伏させるのがよい。しかしながら、降伏するとプレストレス力は減退してしまう。そこで、梁断面中央付近の鋼材を弾性範囲に保つことによりこの鋼材に圧着力を保持させる。」

アメリカ

アメリカでは、もともと UBC (Uniform Building Code) により、地震活動度が高い地域における高強度鋼材 (PC 鋼材) の使用が禁止されていた。したがって、耐震性が重要視される地域では、プレストレストコンクリートは、プレキャスト床版のような部材にしか利用されてこなかった。この状況が変化してきたのは、日米共同研究 PRESSS (PREcast Seismic Structural System) により、プレキャストプレストレストコンクリートに関する研究が行われてきたからである。日本側では、プレストレストコンクリートは扱われなかったが、アメリカ側では、初期の段階から PC 構造をその対象としてきた。日本では、1997 年に始まる「共同研究 PC 構造設計・施工指針の作成」、いわゆる、「PC 共研」に受け継がれる中で、PC 構造に関する研究が行われた。

圧着力をアンボンド PC 鋼材により保持し、普通強度鉄筋により履歴エネルギー吸収を行う Hybrid System は、PRESSS を通じて、ワシントン大学 J. Stanton らの研究者と Pankow Builders によって開発された⁵⁻⁷⁾。地震による被害を受けた際にも、損傷する範囲をできるだけ限定することにより、修復を容易にし、また、大変形時にも弾性範囲に保持される PC 鋼材によるプレストレス力は、残留変形を小さくし、復元性をよくする。しかしながら、このままでは、非線形弾性の履歴ループとなり、エネルギー吸収が小

さくなるので、断面縁近傍に配置した普通強度鉄筋を降伏させることにより履歴エネルギー吸収を行うシステムである。現在までにアメリカ国内において、約 20 の施工例がある。アメリカ以外でも、ドミニカ共和国において、現在、設計中の物件がある。Hybrid System で建設された最初の建物である The Paramount (図 - 1 および 2) は、サンフランシスコの The Third 通りと The Mission 通りの角に位置する高

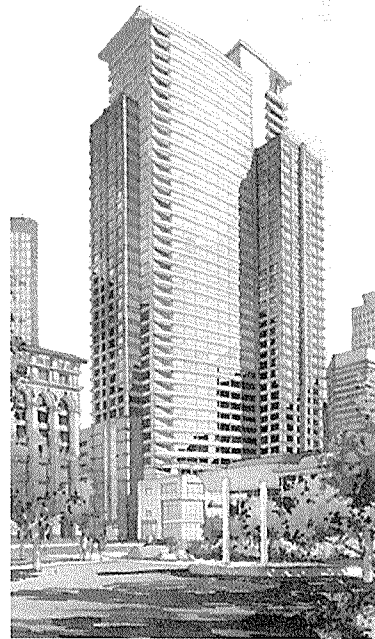


図 - 1 The Paramount

層集合住宅である。この建物では、Hybrid System (図 - 3 (a) および (b)) が利用されているだけではない。少し変わった鋼線配置が行われている。隅柱にとりつく X 方向と Y 方向の梁に通して、すなわち、隅柱の中で 90 度曲げて PC 鋼線を配置し、プレストレスを導入している。隅柱のディテールとそこで使用する金物を図 - 3 c に示す。これにより、定着部を隅柱内に置くことを避け、また、定着部スタブのような出っ張りが隅柱から突出しないようにしている。

Hybrid System は、現行の基規準ではカバーされていないが、IBC 2003 で使用が可能になる。また、IBC 2006 には、post-tensioned vertically coupled shear wall system⁸⁾ が規定されるよう作業中とのことである。これは、2 枚の壁を組み合わせ、coupled shear walls とし (図 - 4)、これを PC 鋼材により縦締めし、壁全体としてロッキングさせることにより、復元性の高い骨組を構成するものである。ロッキングするだけでは履歴ループがエネルギー吸収の小さい非線形弾性型となるので、2 枚の壁の間に、低降伏点鋼を配置したり、ダンパーを取り付けるなどして、エネルギー吸収要素は別に設けるといシステムである。

IBC とは、International Building Code のことである。現在、アメリカで公式にモデルコードとされているのは、この IBC と、NFPA (National Fire Protection Association) 規準のふたつである。IBC は、BOCA (The Building Officials and

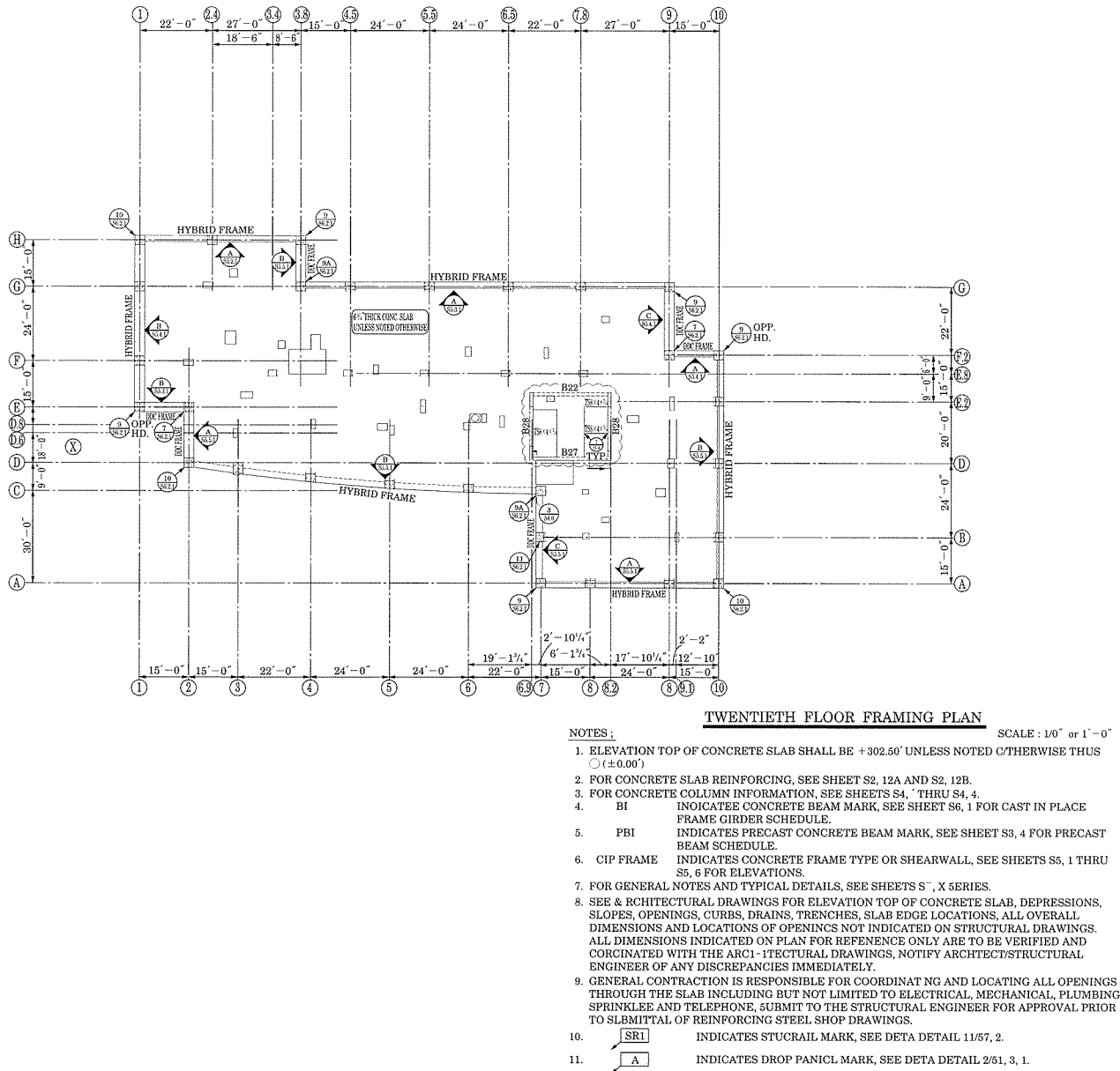
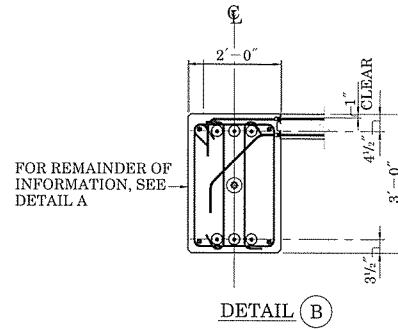
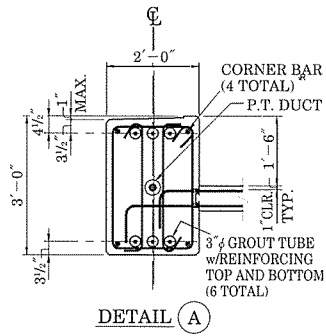


図 - 2 The Paramount 平面図

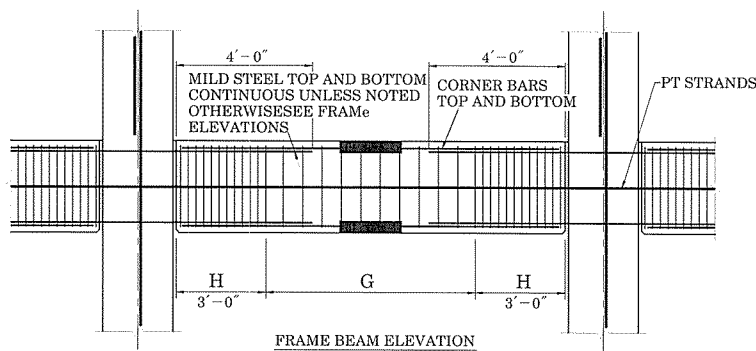
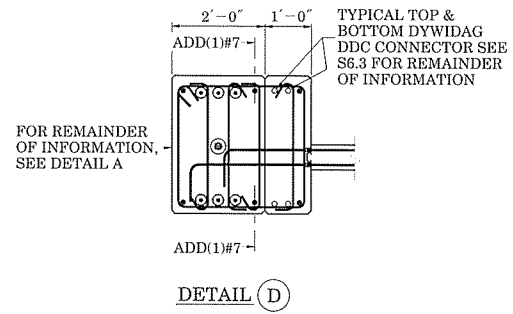
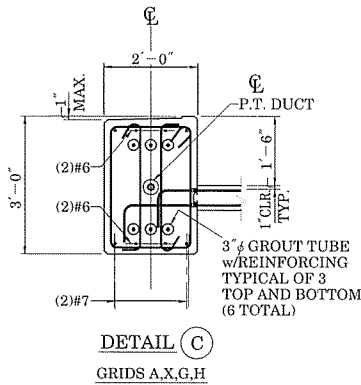
Code Administrators International), SBCCI(Southern Building Code Congress International), それに, ICBO(International Conference of Building Officials)が合同して組織された ICC(International Code Council)によって作成されている。耐震設計に関してよく引用される UBC は, ICBO により作成されていたものである。これらに基づいて, 市, 郡, 州レベルの規準が整備されることになる。UBC は 1997 年版が最後のものとなり, 以後は, IBC に引き継がれている。ただし, もとにされる規準がつねに最新のものとに限らない。IBC は 3 年ごとに改訂され, 現在は, 2003 年版が最新となっているが, 多くの西海岸の市では, いまだ, UBC 1997 を使用している。サンフランシスコでも, UBC 1997 が支配的ではあるが, 設計者は, 最新の IBC 2003 を使用するこ

とができるように役所に働きかけている。

ACI Structural Journal/September-October 2001 には, ACI Innovation Task Group I によりまとめられた「Special Hybrid Moment Frames Composed of Discretely Jointed Precast and Post-tensioned Concrete Members and Commentary」のドラフトが掲載されている⁹⁾。Hybrid System を用いた骨組は, 一体打ちを対象とした ACI 318-99 の 21 章「Special Provisions for Seismic Design」を満足していない。このため, 使用するには, 21 章の規定を満足する, 等価な一体打ち鉄筋コンクリート造骨組に等しいか, あるいは, それを越える強度と変形能力を, 骨組システムがもつことを実験や解析により証明しなければならない。上記のドラフトは, Hybrid System が, 等価な一体打ち骨組に少なくとも等しい強度と



FRAME BEAM REBAR AND THE CONFIGURATION



NOTE:
EFFECTIVE P.T. FORCES ARE AS FOLLOWS:
15 - 6 φ Fe = 522.5 k
17 - 6 φ Fe = 592.1 k
19 - 6 φ Fe = 661.8 k
EFFECTIVE STRESSING IN CABLES AFTER LOSSES IS 162KSI.

HYBRID FRAME BEAM SCHEDULE													
MARK	SIZE (INCHES)		CORNER RBARS		TIES				HYBRID		DETAIL	REMARKS	
	b	d	NO.	SIZE	G	DETAIL	H	DETAIL	MILD STEEL NO.	PT STRANDS NO.			
HG1	24	36	4	#9	#4@9	(A)	#4@6	(A)	3	8	17	0.6 φ	DETAIL C WHERE REQUIRED
HG2	24	36	4	#9	#4@6	(A)	#4@6	(A)	3	9	19	0.6 φ	DETAIL C WHERE REQUIRED
HG3	24	36	4	#9	#4@8	(A)	#4@6	(A)	3	9	19	0.6 φ	
HG4	36	36	4	#7	#4@8	(D)	#4@6	(D)	3	10	19	0.6 φ	ADD 1-DDC
HG5	24	36	4	#9	#4@9	(A)	#4@6	(A)	3	7	15	0.6 φ	DETAIL C WHERE REQUIRED
HG6	24	36	4	#9	#4@9	(A)	#4@6	(A)	3	8	19	0.6 φ	DETAIL C WHERE REQUIRED
HG7	24	36	4	#9	#4@9	(A)	#4@6	(A)	3	7	19	0.6 φ	DETAIL C WHERE REQUIRED
HG8	24	36	4	#9	#4@9	(A)	#4@6	(A)	3	7	17	0.6 φ	DETAIL C WHERE REQUIRED

HYBRID FRAME GIRDER SCHEDULE AND DETAILS

図 - 3 (a) Hybrid System 詳細

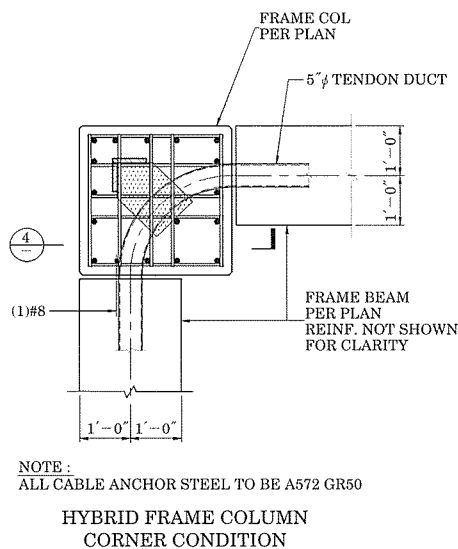
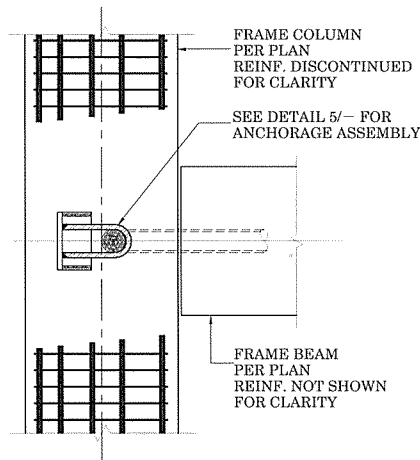
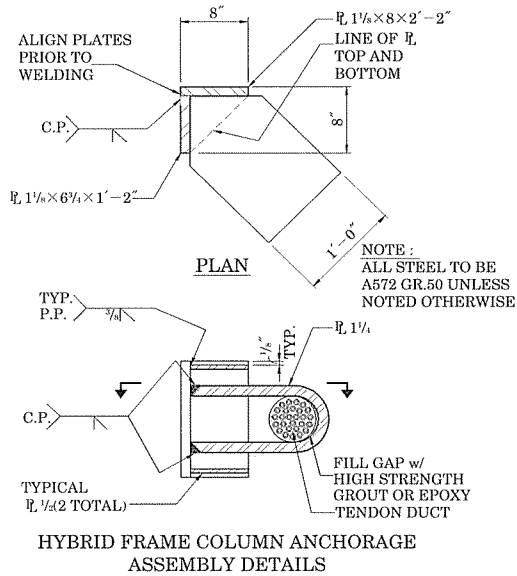


図 - 3 (c) Hybrid System 隅柱詳細

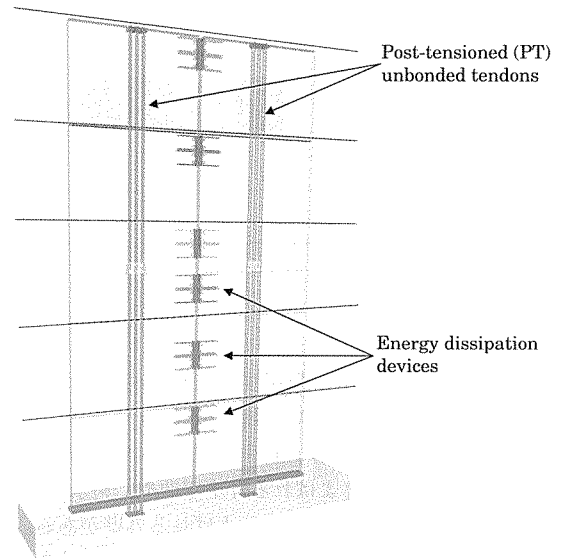


図 - 4 Post-tensioned vertically coupled shear wall system

タベリー大学の R. Park 先生と D. Bull 先生から、また、アメリカに関する情報は、イリノイ大学 N. Hawkins 先生と Pankow Builders の J. Sanders 氏からいただいた。

[文 献]

1. R. W. G. Blakeley and R. Park: Seismic Resistance of Prestressed Concrete Beam-Column Assemblies, ACI J. Sept. 1971 Title No.68-57, pp.677-692.
2. 「日本の構造技術を変えた建築 100 選 南淡町役場」, 日本建築構造技術者協会編, 彰国社, 2003 年
3. 例えば, R. Park and K. J. Thompson: Cyclic Load Tests on Prestressed and Partially Prestressed Beam-Column Joints, PCI Journal, Sept.-Oct. 1977, pp.84-110.
4. 西山, 福本, 小田, 渡辺, 六車: プレキャストプレストレストコンクリート圧着梁柱ト型骨組の載荷試験 (その 1: 実験概要) (その 2: 実験結果および考察), 日本建築学会大会学術講演梗概集 (関東) 1993 年 9 月, pp.1057-1060.
5. Nakaki, S.D., Stanton, J. and Sritharan S., An overview of the PRESSS five-storey precast test building, PCI Journal, 44, 2, Mar.-Apr., pages 26-39, 1999.
6. Stanton, J. F., Stone, W. C., and Cheok, G. S.: A hybrid reinforced precast frame for seismic regions. PCI Journal, Vol. 42, No.2, pp.20-32, 1997.
7. Stefano Pampanin and Minehiro Nishiyama: CRITICAL ASPECTS IN MODELLING THE SEISMIC BEHAVIOR OF PRECAST/PRESTRESSED CONCRETE BUILDING CONNECTIONS AND SYSTEMS, Proceedings of the first fib Congress 2002, pp.305-314.
8. Kurama, Y., Sause, R., Pessiki, S., and Lu, L-W.: Lateral load behaviour and seismic design of unbonded post-tensioned precast concrete walls. ACI Structural Journal, 96(4), 622-632, 1999.
9. ACI Innovation Task Group I; Special Hybrid Moment Frames Composed of Discretely Jointed Precast and Post-tensioned Concrete Members and Commentary, ACI Structural Journal/September-October 2001, pp.
10. ACI ITG/T1.1-99: Acceptance Criteria for Moment Frames Based on Structural Testing

【2003 年 5 月 23 日受付】