

[231] 2方向にプレストレッシングされた添梁の耐力実験

近藤 真澄 (名古屋市交通局)
 正会員 ○堀 幸夫 (大成建設名古屋支店)
 菅原 義信 (同上)
 正会員 大友 健 (大成建設技術研究所)

1. まえがき

本試験は、名古屋市交通局地下鉄6号線工事における、既設柱の仮受け構造を対象としたものである。6号線は、既設のユニモール地下街の直下をボックスカルバートで通過することから、ユニモールの柱荷重(1柱当り700t)を図-1に示すように4点で仮受けする必要がある。既設柱仮受け時の添梁としては、一般的に1方向プレストレス締結方式が採用され実績も多い。しかし本件の場合は、新旧構造物との空頭が小さく、かつ既設柱の仮受け荷重も大きいので、この方式による添梁構造は困難である。

そこで、これらの条件を満足する工法として、正方スラブの4端からプレストレスによる緊張をおこない、柱・添梁接触面全面を柱荷重に対して有効なせん断面と考える2方向プレストレス締結式添梁工法を採用した。しかしこの工法は今まで施工実績がなく、設計手法・耐力特性や力学挙動が明確になっていないと言いき難い。したがって、実構造物の1/2スケールの試験体に対して載荷試験を実施し、2方向プレストレス締結方式添梁の安全性・設計仮定の妥当性および接触面でのせん断の伝達機構・破壊挙動等を確認した。

2. 設計条件

試験体柱荷重 $P = 175t$ (1/2スケール・以下同様) に対して安全率を 2.5とした荷重 $nP = 438t$ を設計荷重とし、石田の一方向プレストレス締結方式添梁に対する設計手法¹⁾に拠って、以下の条件で添梁の設計をおこなった。

1) nP 荷重の押抜に対して添梁柱接触面の平均せん断応力が、 $50kg/cm^2$ 以下となる梁高さを有する。

2) 4点支持のスラブ構造をスラブ全幅有効の単純梁として考える(図-1)。

3) 単純梁の解法としてコンクリート全断面有効の弾性解を用いる。

4) nP 荷重に対して添梁・柱接触面の下縁応力を $15kg/cm^2$ 以下とする。

3. 試験体

以上の条件により設計された試験体の形状寸法を図-3に示す。同一の試験体3体に対し、プレストレス締結の効果を検証するため、PC鋼棒導入力をパラメータとし次の3試験体に対する載荷試験を実施した。

- NO.1試験体 - 設計導入力
- NO.2試験体 - (設計導入力) × 2/3
- NO.3試験体 - (設計導入力) × 1/3

既設柱の添梁接触面には、はつりハンマーによるチッピングを施している。

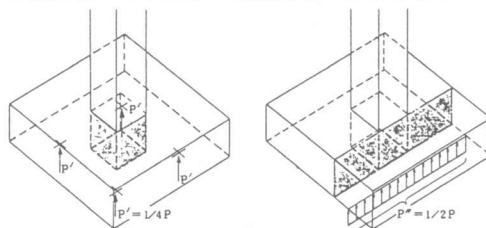


図-1 設計の考え方

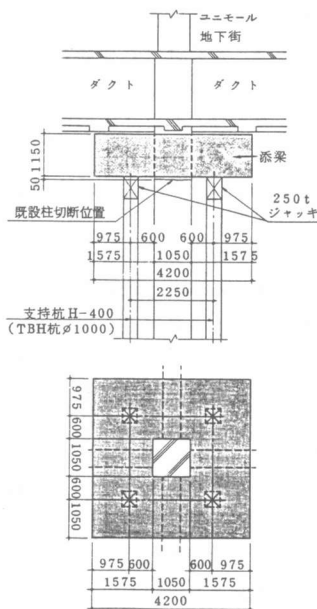
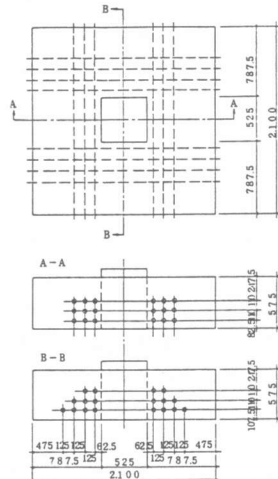


図-2 構造一般図



柱 $\sigma_{ck} = 240kg/cm^2$
 添梁 $\sigma_{ck} = 400kg/cm^2$
 PC鋼棒 $\phi 17 SBPR 95/120$

図-3 試験体形状寸法

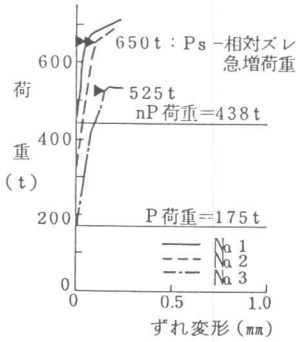


図-4 柱・添梁接触面の相対ずれ変形

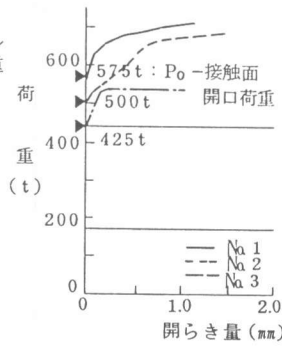


図-5 柱・添梁接触面の開き量

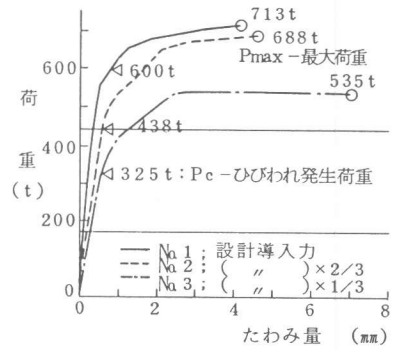


図-6 添梁中央におけるたわみ量

4. 変形状と破壊耐力

本構造においては、既設柱と添梁の接触面でのみ柱荷重が伝達される。接触面のずれ変形を図-4、下縁の開き量を図-5、仮受け構造中央点のたわみ量を図-6に示した。

このような形式の添梁では、破壊形式として接触面でのせん断引抜が考えられたが、ずれ変形量は、いづれの試験体においても、最大荷重時でも0.3mm以下で、一般にせん断面で破壊する場合には1mm～2mm程度の変形が生ずることを考えると、本試験では接触面のせん断破壊は生じていないとみてよい。しかし破壊に近い荷重域でずれ量が急増する傾向が認められる。

図-5に示す下縁部開口量は、接触面下縁の応力状態を示すものでプレストレス導入力による差が顕著にあらわれている。

接触面での変形状態の変化が、添梁全体の挙動に及ぼす影響を図-6のたわみ量の挙動からみると、載荷初期には弾性的に挙動しているたわみが、接触面下縁開口後に剛性の低下を示しはじめ、接触面のずれ急増後は急激に変形し破壊に到る様子が明らかである。このことから、接触面下縁における開口、またはずれ開始が、添梁全体の挙動に対して臨界的な荷重となっていることが確かめられた。

これらの変状荷重に及ぼすPC導入力の影響を図-7に示した。設計の仮定では、下縁応力が15kg/cm²の時に接触面の開口が生ずるとしている。実験値は安全側となっており、プレストレスによる緊張が有効に作用する結果となっている。

各変状荷重の設計荷重に対する安全率を表-1に示す。NO.1設計導入力の場合、P荷重に対して4以上、nP荷重に対しても1.6以上の安全率を有している。また添梁変形上の臨界点となる接触面の開口荷重も設計値(nP時15kg/cm²)に対して1.3以上となっており、設計導入力が与えられていれば耐力は十分であり、導入力が1/3になった場合でも耐力的には安全であると認められる。

接触面の平均せん断応力に関して、設計では、これを50kg/cm²以下としていた。表-2に各試験体の最大荷重時およびずれ急増時の平均せん断応力を示す。

各試験体とも、接触面がせん断により破壊することはなかったので終局的なせん断強度を求めることはできなかったが、NO.1・NO.2の試験体については、平均応力が50kg/cm²となっても破壊が生じないことが確認された。

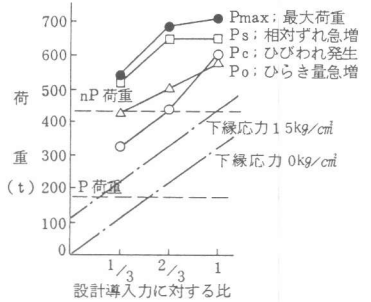


図-7 PC導入による変状荷重の変化

表-1 各変状荷重の設計荷重に対する比

供試体変状荷重	N ₁ (設計導入力)	N ₂ (設計導入力)×2/3	N ₃ (設計導入力)×1/3
最大荷重	Pmax (t)	713	688
	Pmax/nP*	1.63	1.57
	Pmax/P**	4.07	3.93
ひびわれ発生荷重	Pc (t)	600	438
	Pc/nP	1.37	1.00
	Pc/P	3.43	2.50
柱・スラブ接触面ひらき急増荷重	Po (t)	575	500
	Po/nP	1.31	1.14
	Po/P	3.29	2.86
柱・スラブ接触面相対ずれ開始荷重	Ps (t)	650	650
	Ps/nP	1.48	1.48
	Ps/nP	3.71	3.71

*1 nP=2.5×175t=438t

*2 P=175t

表-2 最大荷重時及ずれ開始荷重時の接合面に作用する平均せん断応力

供試体変状荷重	N ₁ (設計導入力)	N ₂ (設計導入力)×2/3	N ₃ (設計導入力)×1/3
最大荷重	τ_{max} (kg/cm ²)	59.0	57.0
	τ_{max}/τ_s^*	1.18	1.14
	$\tau_{max}/\tau_{np}^{**}$	1.63	1.57
ずれ開始荷重	τ_{s11p} (kg/cm ²)	53.8	53.8
	τ_{s11p}/τ_s	1.08	1.08
	τ_{s11p}/τ_{np}	1.48	1.48

*1 $\tau_s = 50 \text{ kg/cm}^2$

*2 $\tau_{np} = 438 \text{ t} / 4 \times 5.25 \text{ cm} \times 5.75 \text{ cm} = 3.63 \text{ kg/cm}^2$

添梁の破壊は最終的には、添梁のせん断形式（図-8①）となったが、N0.3の試験体では、添梁底面に円周上のクラックパターンが認められ、押抜せん断形式（図-8②）の傾向もある。本試験体でプレストレスが0 kg/cm²すなわちRCスラブの場合、破壊形式は押抜せん断となると思われるので、このような破壊形式の相異は、プレストレス導入の効果によるものとみなされる。また、図-7でN0.1試験体の最大荷重が導入力に対して頭打ちとなっていることからプレストレスが十分導入された状態での仮受け構造の最大耐力が添梁自体のせん断耐力に支配されるものと考えてよい結果となった。

5. 柱・添梁接触面の応力状態

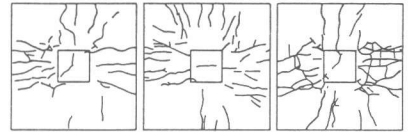
柱・添梁接触面に作用する応力としては、接触面に直交する応力としてプレストレス力による圧縮力・添梁の曲げによる断面力・接触方向の応力として柱からの伝達せん断力がある。試験体の接触面近傍に配置した埋込ゲージのひずみ挙動から接触面における応力状態の変化を検討した。

図-9,10に、接触面方向のせん断ひずみおよび、接触面直交方向のひずみの、プレストレス導入時・P荷重時・nP荷重時の分布状況を示した。伝達せん断力の評価をおこなうため、この測定ひずみから柱添梁接触面を全断面有効として算出した測定平均応力の変化を図-11に示した。測定された応力と柱荷重を接触面積で除した計算値とを比較すると、接触面開口荷重までは一致している。これ以上の荷重では、接触面の下縁が開口し中立軸が上昇するため、接触面の有効断面積が減少していることが図-10より明らかである。

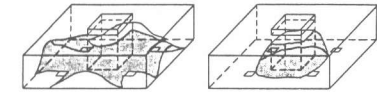
設計においては、nP荷重時の全断面平均有効応力が50 kg/cm²以下となることを条件としているが、実際のせん断伝達の評価のためには、この有効断面の減少を考慮する必要がある。本試験の場合、有効断面積の減少に関しては、接触面開口荷重が臨界荷重となるが、nP荷重時の下縁応力を15kg/cm²以下として設計をおこなえば下縁の開口は生じず十分な安全な設計であると考えられる。

接触面の応力伝達についてはせん断摩擦抵抗の概念を適用することができる。図-12に接触面に作用する有効断面の減少を考慮したせん断応力と、圧縮応力の関係を示した。

導入の小さいN0.2・N0.3の試験体では、下縁応力が15kg/cm²をこえ接触面が開口した時点で、有効断面の減少



Na1：設計導入力 Na2：設計導入力×2/3 Na3：設計導入力×1/3



① 添梁のせん断破壊 ② 押抜せん断破壊

図-8 底面のクラックパターンと破壊形式

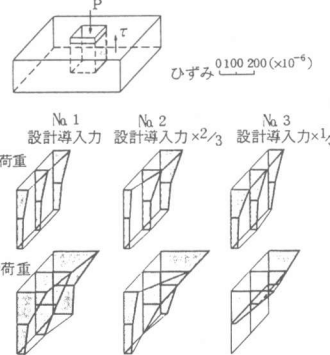


図-9 載荷軸方向ひずみ分布及変化

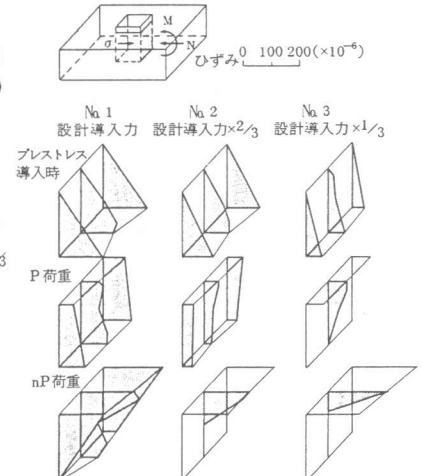


図-10 載荷軸直交方向ひずみ分布及変化

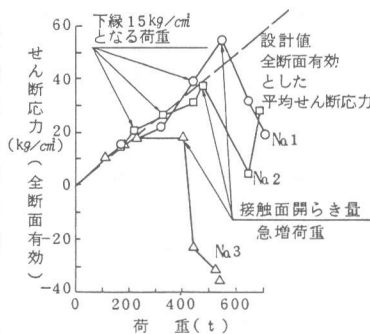


図-11 接触面を全断面有効とした時の載荷による平均せん断力の変化

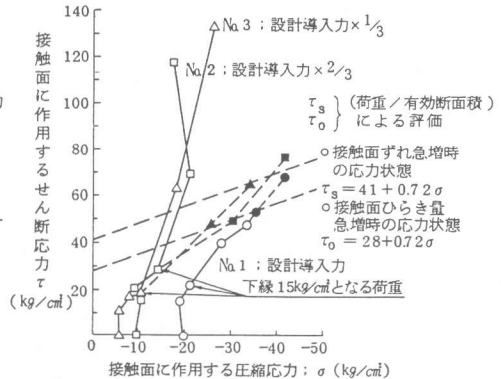


図-12 接触面の応力状態とせん断摩擦係数

によりせん断応力が急増している。

接触面ずれ急増時のせん断応力と圧縮応力の関係を有効断面積を考慮して推定すると、図-12中破線で示す摩擦特性を得る。

これは、接触面のせん断破壊を評価したものではないが、ずれ急増後の添梁の挙動からせん断限界とみてよい。本試験体接触面の場合、摩擦抵抗は0.72程度であり、また付着力を41kg/cm以上期待してよいと考えられる。

6. 添梁の応力状態

せん断摩擦式から、接触面に作用する圧縮応力がせん断耐力の上昇に寄与する。したがって、設計の前提として、プレストレスが接触面に有効に作用する事が必要とされる。本構造では、接触面を直接緊張することなしに(図-3)添梁外端からの導入力添梁内で分散することにより軸圧縮の効果をj得るように設計している。

図-13は、添梁中央断面各点におけるモーメントの分布を示したものである。P荷重時の分担モーメントは、ほぼ一樣になっており、スラブ全断面が有効に載荷荷重を受け持つことを示している。したがって2方向に緊張を受けるスラブを一方の梁として、全断面有効と考える設計上の前提が妥当なものと考えられる。添梁中央断面の平均モーメントの変化をj図-14に示す。下縁応力が15kg/cmとなる荷重までは、モーメントはほぼ線形に変化しており、この条件で設計をおこなえば(設計導入力におけるnP荷重)、設計値は添梁の挙動を良く反映するものとなる。

また、この時測定されたモーメントは、添梁を一方の梁として算定した計算値の約0.75倍となっており、本設計条件によれば、安全側の構造解析がなされることが確認された。

7. まとめ

2方向締結添梁の設計上の取り扱いとして4点支持のスラブ構造を一方の全断面有効の梁として弾性解析する手法の妥当性を検討した。試験結果より、本添梁構造は、柱荷重を梁全断面で受け持つことが確認され、梁の曲げに対しては、柱・添梁接触面の下縁開口荷重が変形の臨界荷重となることが明らかとなった。設計上ではこの時の下縁応力を15kg/cmとしており、この荷重まで接触面は開口せず、設計計算は添梁の挙動を十分把握できるものである。また、実際に試験体に作用する応力は計算値の75%程度であり安全側の設計となっていることが確認された。

本実験では、仮受け構造の破壊は添梁自体のせん断破壊となったため、接触面のせん断強度は求めることができなかったが、接触面のずれ急増荷重をせん断応力限界として整理した。この結果、設計における平均せん断応力50kg/cm以下の制限値は、接触面に圧縮応力が作用している状態でも有効であり、これ以上の荷重では、梁の曲げによる有効断面積の減少を考慮する必要があるものと認められた。本構造の場合、nP荷重(下縁応力15kg/cm以下)に対する設計を実施しているjので、十分安全である。

試験体は、PC鋼棒の緊張力を低減した場合でも所要の耐力を有することが確認された。したがって本設計手法により十分安全な仮受け構造を構築することができる。

本試験結果を基に、現在、地下鉄6号線仮受け工の実設計がなされ、昭和63年秋着工予定である。

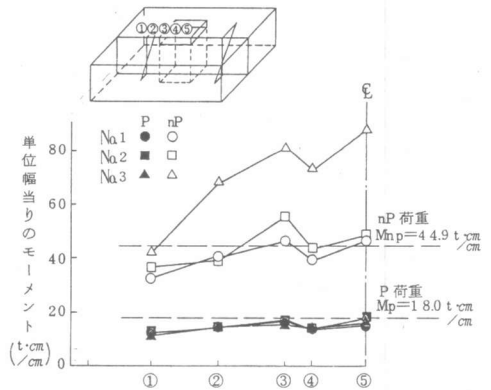


図-13 添梁中央断面におけるモーメントの分布

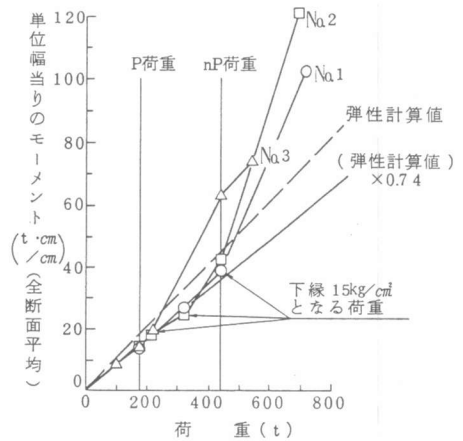


図-14 添梁中央断面における平均モーメントの変化