

機能分離型支承構造におけるヘッド付きアンカーの性能確認実験

(社)プレストレスト・コンクリート建設業協会 支承検討委員会 委員長：中條 友義*

1. はじめに

兵庫県南部地震の教訓により、支承部構造は橋梁を構成する重要な主要構成部材の一つとして再認識されるとともに、プレストレストコンクリート橋（以下、PC橋と記す）の上部工工事費に占める比率も大きい。そのため、橋梁全体の建設コスト縮減を考えるうえでは、その低廉化が大きな課題となっている。

(社)プレストレスト・コンクリート建設業協会（以下、PC建協と記す）では、コスト縮減への取組みとして支承部構造の合理化に着目し、1998年3月より「支承検討委員会」を設置して支承・アンカーボルトなど支承部構造の低廉化についての検討を行ってきた。

「道路橋示方書」では、橋梁の支承部構造として、支承を上下部構造に確実に接合させることを目的に上下鋼板・アンカーボルトを有したタイプB支承を用いることを基本としている。ただし、両橋台の拘束により上部構造に大きな振動が発生しにくい桁長50m以下の橋梁や、支承部の構造上やむを得ない場合には落橋防止システムと補完し合せて地震力に抵抗するものとして、パッド型ゴム支承のタイプA支承を用いてもよいとしている。しかし、プレキャスト桁架設方式連続桁橋を含む多くのPC連続桁橋は、その桁長が50mを超えるため、タイプB支承を用いることが前提となる。

タイプB支承では、一般的に地震時慣性力として作用する上部構造の水平力・鉛直力を確実に下部構造に伝える荷重伝達機能に加え、水平力を分散する変位機能が求められる。しかし、橋梁形式によってはより合理的な支承構造を用いることが可能と考え、多脚固定方式のPC連続桁橋に用いるタイプB支承の合理化・低廉化を検討した。その場合、固定・可動のタイプB支承構造となるが、一つの支承に多くの機能を集中させず、支承の機能を分散させた荷重抵抗システムを構築することを念頭におき、コンクリート橋の特徴である支点部の比較的大きな横桁構造を利用した機能分離型支承構造とすることで、施工性がよく合理的かつ経済的な支承構造を形成することができるものと考えた。

その機能分離として、図-1に示すように、荷重伝達機能のうち鉛直力（主として常時下向き）支持機能をパッド型支承に、保有水平耐力レベルの水平力支持機能および鉛直力（地震時上向き力）支持機能を支点横桁に設置するヘッド付きアンカーボルトに負担させる構造とした。そのヘッド付きアンカーを図-2に示す。構造としては、通常のアンカーボルトの頭部にねじを切り、円形状のヘッドプレートを取り付けたものであり、このヘッドプレートにより地震時上向き力に抵抗させる構造としている。

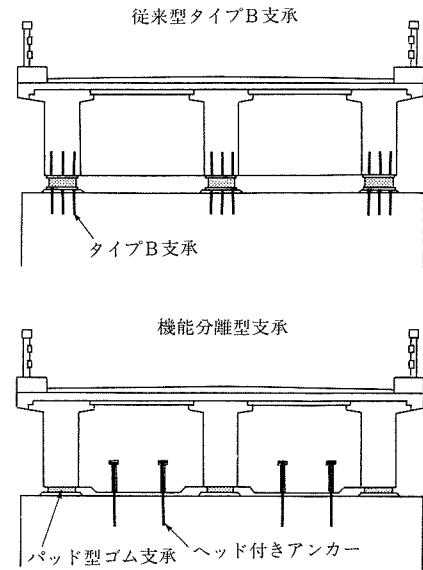


図-1 従来型タイプB支承と機能分離型支承構造

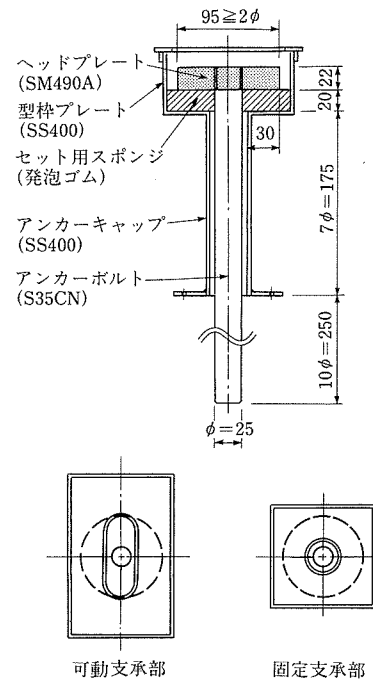


図-2 ヘッド付きアンカー

そのヘッド付きアンカーがBタイプ支承構造に求められる地震時上向き力に対して十分な性能を有するかを確認するために、横桁部をモデル化した供試体により静的引抜き試験を行った。本文は、その実験結果について報告するものである。

* Tomoyoshi NAKAJYO：日本鋼弦コンクリート(株) 常務取締役 技術部長

2. 実験概要

実験の目的は、想定する地震時上向き力に対して、以下の項目の安全性を確認することにある。

- ① ヘッドプレートのねじ強度
- ② ヘッドプレート前面のコンクリート局部せん断破壊
- ③ コンクリートの押抜きせん断によるひび割れ

とくに、②の局部せん断破壊面はヘッドプレートを底面とした逆円すい状に形成されることが予想され、とくにアンカーキャップが長孔となる可動支承部においては、施工誤差等を原

因としたヘッドプレートの片利きの影響により、内側に埋没することが考えられる。しかし、設計においてこの挙動を推定することは難しく、実験的な検証が必要と判断した。

2.1 供試体

各供試体は、幅500mm×高さ600mm×長さ1200mm寸法の等断面矩形梁を用い、固定支承部・可動支承部2タイプの供試体を各2体ずつ製作した。図-3に断面形状および配筋寸法を、表-1に供試体の種類およびコンクリートの材料強度を示す。供試体は、プレテンションT桁の横桁を想定したものであり、実構造物と同程度の鉄筋量を配置した。また、横桁横締めPC鋼材を考慮し、平均プレストレス $\sigma_{ep}=1.0\text{N/mm}^2$ を与えた。アンカーボルトの径は、供試体の耐力および試験設備を考慮して最小径である $\phi 25\text{mm}$ とし、可動支承部のアンカーキャップは、移動量30mmを想定した。写真-1に供試体の配筋状況を示す。塩ビ管は、試験終了後にヘッドプレートおよびセット用スポンジの変形状況を観察するため、アンカーボルトを取り出せるように配慮したものである。使用材料として、表-2にコンクリートの示方配合表を、表-3に

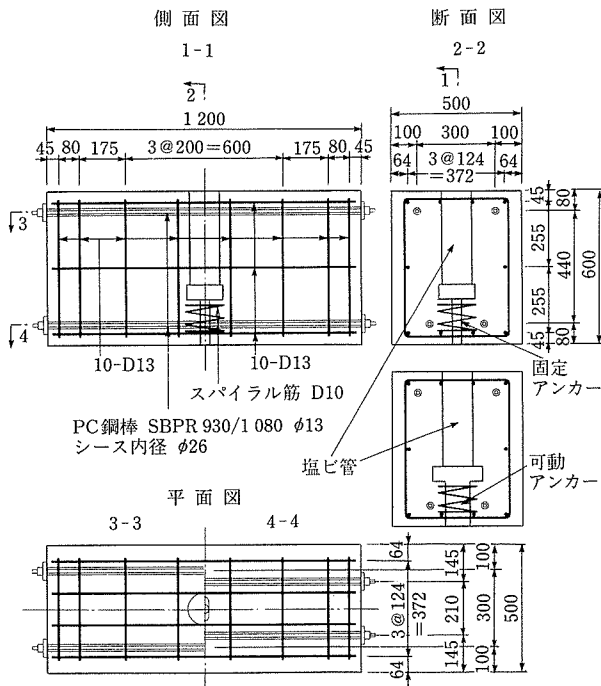


図-3 供試体の形状および配筋

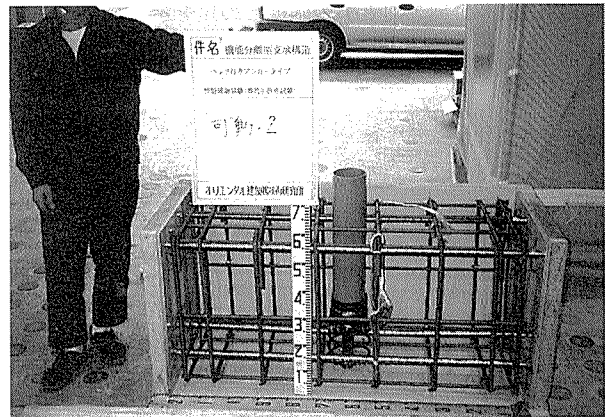


写真-1 供試体製作状況

表-1 供試体の種類およびコンクリート強度

供試体 No.	供試体寸法 (mm) (幅×高さ×長さ)	固定可動	移動量	アンカーボルト		硬化コンクリートの品質試験結果			
				径	埋込み長	圧縮強度 f_c'	引張強度 f_t	ヤング係数 E_c	グラウト強度 f_g'
固定-1	500×600×1200	固定	—	$\phi 25$	7 ϕ (175mm)	43.6	3.55	30 600	35.7
可動-1		可動	30mm						
固定-2		固定	—			45.0	3.44	30 100	41.7
可動-2		可動	30mm						

表-2 コンクリートの示方配合

粗骨材の最大寸法 G_{max} (mm)	スランブの範囲 (cm)	空気量の範囲 (%)	水・セメント比 W/C (%)	細骨材率 s/a (%)	単位量 (kg/m ³)				
					水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	混和剤 NL4000 S.P.
20	8±2.5	2±1	55	46	165	300	864	1 022	6.0

表-3 鋼材の材料特性

材質	径 (mm)	断面積 (mm ²)	降伏点強度		引張強度		弾性係数 (N/mm ²)	伸び (%)	
			応力 (N/mm ²)	荷重 (kN)	応力 (N/mm ²)	荷重 (kN)			
PC鋼棒	SBPR95/110	$\phi 13$	132.7	934	124	1 078	143	2.0E+05	5
鉄筋	SD295A	D 13	126.7	295	37	440	56	2.0E+05	16
アンカーボルト	S35CN	$\phi 25$	490.9	305	150	510	250	2.0E+05	23
ヘッドプレート	SM490A			295		490		2.0E+05	23

鋼材の材料特性値を示す。

2.2 載荷方法および計測項目

(1) 載荷方法

載荷装置として、図-4に示すようにアンカーボルトの下端をカップラーで鋼棒に接続し、H鋼で反力をとらせセンターホールジャッキを用いて、その鋼棒を静的に引き抜く方法とした。引抜き試験状況を写真-2に示す。

載荷は、想定される地震時上向き力 ($R_u = 20 \text{ kN}$) の5倍の荷重 ($P = 100 \text{ kN}$) までの静的単調載荷とした。また、荷重が20 kN (設計荷重)、60 kN (設計荷重の3倍) の時点で、コンクリートのひび割れおよび異常の有無を確認した。実験終了後は、アンカーボルトを取り出し、ヘッドプレート・セット用スポンジの変形状を観察した。

(2) 設計地震時上向き力

アンカーボルトの必要断面積は、地震時水平力によってアンカーボルトに作用するせん断力から決定され、地震時上向き力に対しては余裕がある。そのため、アンカーボルトの引張強度と想定する地震時上向き力には大きな開きがある。表-4に、実験に使用したアンカーボルト径に対応する設計地震時上向き力と引張強度との比を示す。

(3) 計測項目

計測項目を以下に示す。

- ① アンカーボルト、ヘッドプレートの鉄筋コンクリー

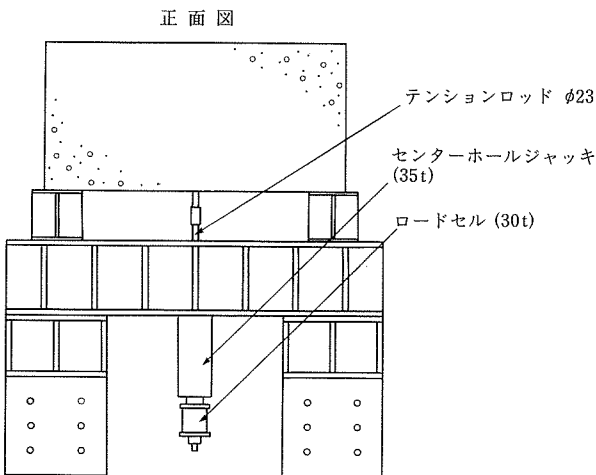


図-4 載荷装置

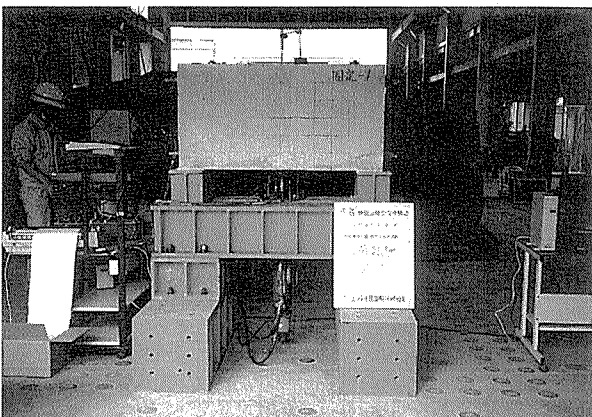


写真-2 引抜き試験状況

ト梁との相対変位

- ② アンカーボルトの引張りひずみ
- ③ ヘッドプレートのひずみ
- ④ 軸方向鉄筋のひずみ
- ⑤ スターラップのひずみ

3. 実験結果と考察

設計地震時上向き力の5倍の荷重 ($P = 100 \text{ kN}$) まで静的載荷を行った。供試体はPC構造としたため曲げひび割れは発生しなかった。また、アンカーボルトの埋込み長を直径の7倍 (7ϕ) と短く設定したが、押抜きせん断によるひび割れも見られなかった。

3.1 ヘッドプレート・アンカーボルトの変位

アンカーボルトの引抜き荷重による各位置での鉛直変位を計測した。図-5に変位計測位置および記号を示す。ヘッドプレート (D-1) は、コンクリート部材の相対変位量、それ以外 (D-2~D-5) は固定点からの変位量 (絶対変位量) とした。

固定および可動アンカー供試体について、図-6, 7にヘッドプレート位置、図-8, 9にアンカーボルト位置における荷重-変位関係を示す。供試体の変形が微小であるため、両位置での値に差は生じなかった。引抜き荷重10kNまでは、セット用スポンジ (発泡ゴム) の圧縮変形が支配的であり、20 mm製品厚が4 mm厚に変形 (80%変形) した。その後の荷重増加による変形は、アンカーボルトの応力増加分であり、ごく僅かであった。また、残留変位は固定部6 mm、可動部10 mmとなった。

表-4 地震時上向き力

アンカーボルト (S35CN)
地震時許容応力度 (割増し1.5)
せん断: $\tau_{sa} = 120 \text{ N/mm}^2$
引張り: $\sigma_{sa} = 285 \text{ N/mm}^2$
アンカーボルト1本あたりの設計上部工重量: R_d
$A_s = 490.9 \text{ mm}^2 (\phi 25)$
$K_{he} = 0.89$ (保有水平耐力タイプIIレベル)
$\tau_s = \frac{R_d \cdot K_{he}}{A_s} \leq \tau_{sa}$
$R_d = \frac{A_s}{K_{he}} \tau_{sa} = \frac{490.9}{0.89} \times 120 = 66 \text{ kN/本}$
地震時上向き力: R_u
$R_u = 0.3R_d = 0.3 \times 66 = 20 \text{ kN}$
安全度: α
$\alpha = \frac{P_{su}}{R_u} = \frac{250 \text{ kN}}{20 \text{ kN}} = 12.5$

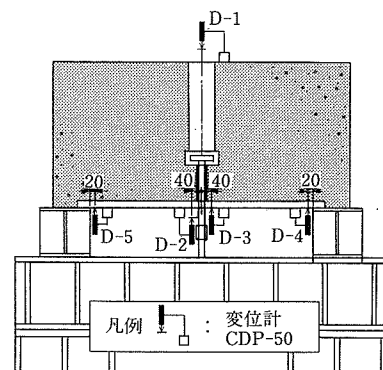


図-5 変位計測位置および記号

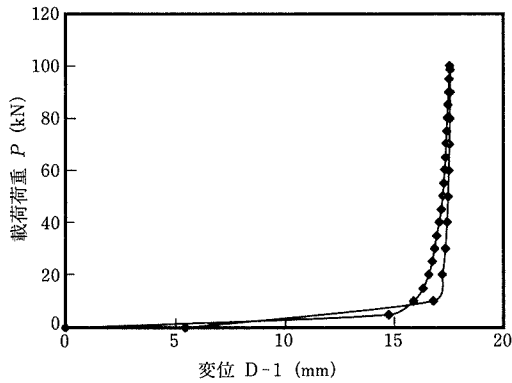


図-6 荷重-変位 (固定:ヘッドプレート)

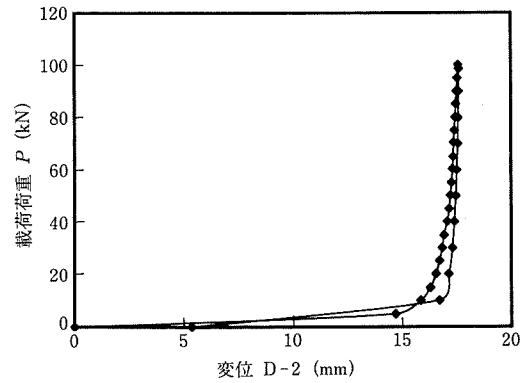


図-8 荷重-変位 (固定:アンカーボルト)

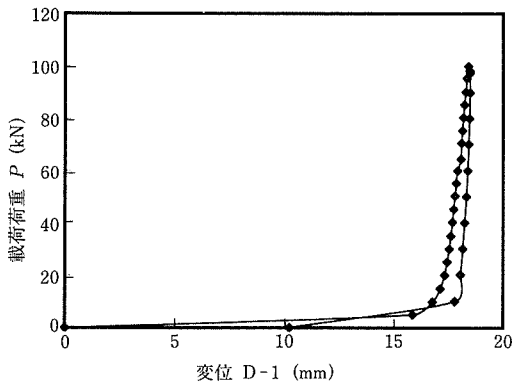


図-7 荷重-変位 (可動:ヘッドプレート)

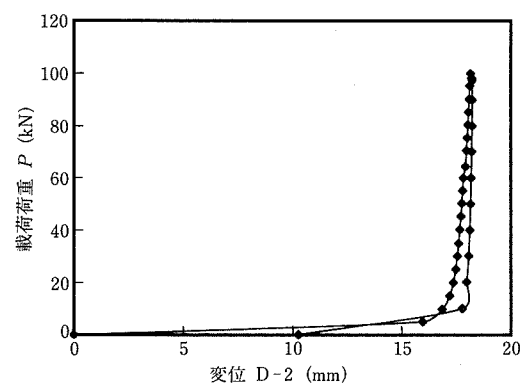


図-9 荷重-変位 (可動:アンカーボルト)

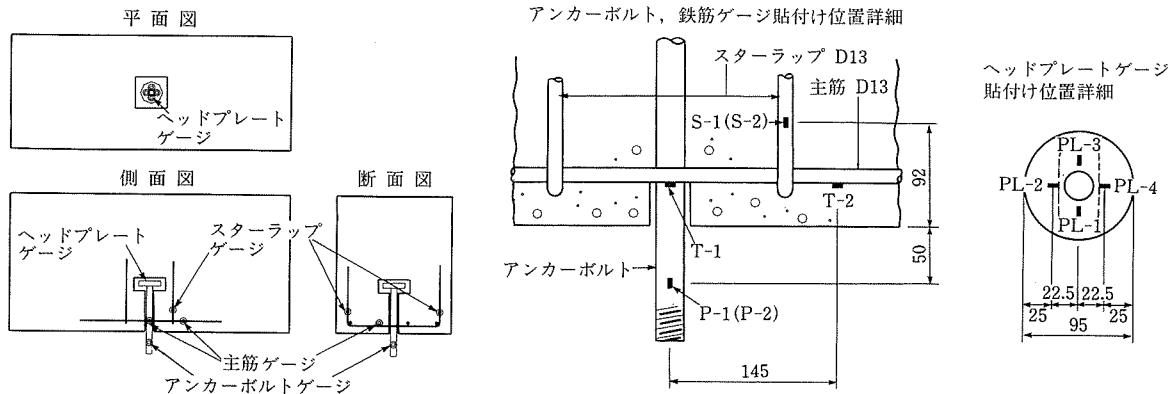


図-10 ひずみゲージ貼付け位置および記号

3.2 各部位での荷重-ひずみ関係

ヘッドプレート、アンカーボルト、軸方向鉄筋、スターラップのひずみを測定した。図-10にひずみゲージ貼付け位置および記号を示す。

(1) ヘッドプレートのひずみ

ヘッドプレート上面の半径方向のひずみを図-11、12に示す。片持ち支持であり上面のひずみは圧縮となることを予想したが、いずれの方向においても引張りとなった。このことから、ヘッドプレートはアンカーボルトに引き込まれ中央部がくぼむ変形となっているものと思われる。また、固定部は4方向ともに同様の引張りひずみとなったが、可動部はアンカーキャップ長手方向のひずみが大きい。アンカーキャップ形状により支持点位置が異なることが影響したものと思われる。

(2) アンカーボルトのひずみ

図-13、14にアンカーボルトの両側面で計測したひずみを示す。固定部のひずみは両面ではほぼ一致しているが、可動部では荷重15kNまでひずみ増加の傾向が異なり、その後の荷重増加によっても両面のひずみ差は縮まらなかった。可動部では、セットボルトをアンカーボルト据付け用としてアンカーキャップに取り付けているが、供試体の僅かな傾斜によりアンカーボルトをセットボルトが拘束したものと思われる。

(3) 軸方向鉄筋のひずみ

図-15、16に下縁軸方向鉄筋の梁中央部と145 mm離れた位置で計測した荷重による鉄筋ひずみの増加量を示す。荷重値 $P=100$ kNにおいてもひずみ値 100μ 以下であり、ひずみジャンプも見られないことから、曲げひび割れが発生していないことが分かる。また、目視においても曲げひび割

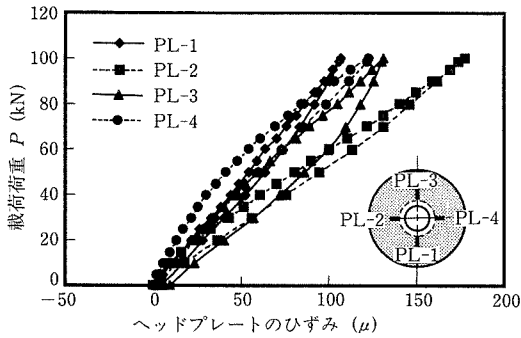


図-11 荷重-ひずみ (固定:ヘッドプレート)

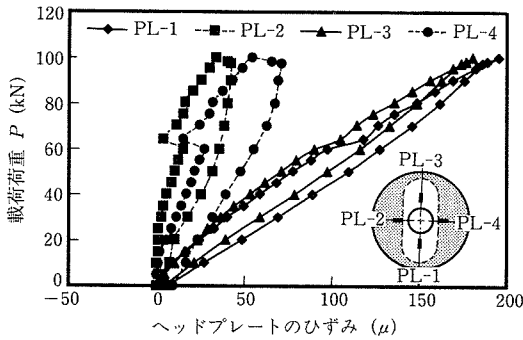


図-12 荷重-ひずみ (可動:ヘッドプレート)

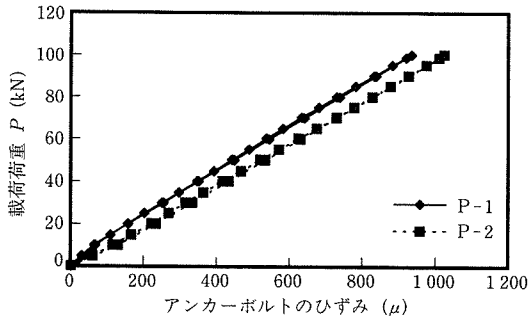


図-13 荷重-ひずみ (固定:アンカーボルト)

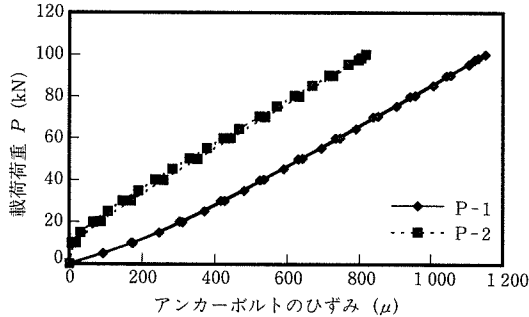


図-14 荷重-ひずみ (可動:アンカーボルト)

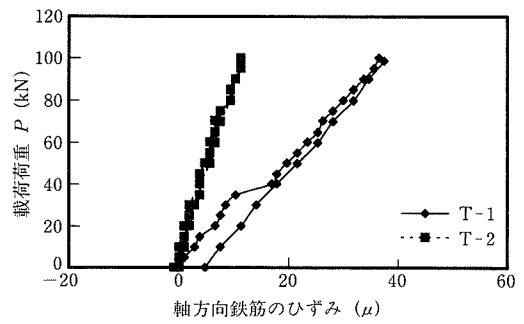


図-15 荷重-ひずみ (固定:軸方向鉄筋)

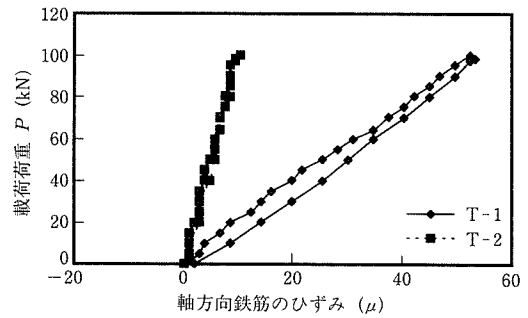


図-16 荷重-ひずみ (可動:軸方向鉄筋)

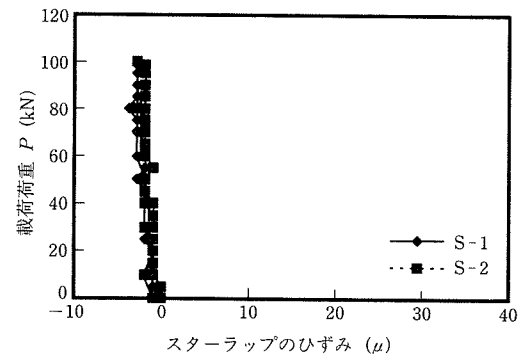


図-17 荷重-ひずみ (固定:スターラップ)

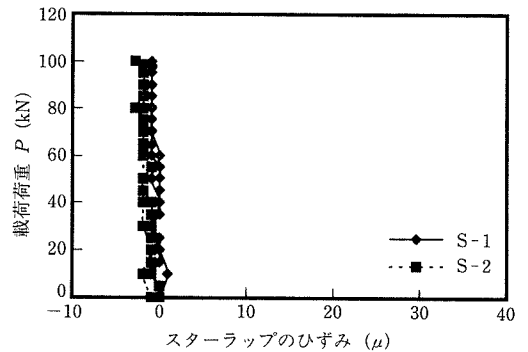


図-18 荷重-ひずみ (可動:スターラップ)

れは確認できなかった。

(4) スターラップのひずみ

図-17, 18にスターラップのひずみを示す。スターラップの急激なひずみ増加はひび割れ発生時に見られるが、ひずみ値は 10μ 以下であり、荷重値 $P=100\text{kN}$ においても押抜きせん断によるひび割れが発生していないことが分かる。

3.3 ヘッドプレート・セット用スポンジ・型枠プレートの変形状況

写真-3, 4に実験終了後に取り出したヘッドプレートと

セット用スポンジ(発泡ゴム)の変形状況を示す。ヘッドプレートの変形ならびにねじ部の損傷は見られず、健全な状態を保っていた。セット用スポンジの変形は、固定部と可動部で大きな差異が見られた。固定部はほぼ原形どおりに復元するのに対して、可動部は大きく陥没している。可動部の変形は、支圧面積が少ないことよりも、開口形状が長孔であるために短辺側の拘束度が低く内側に変形しやすいことが原因と思われる。

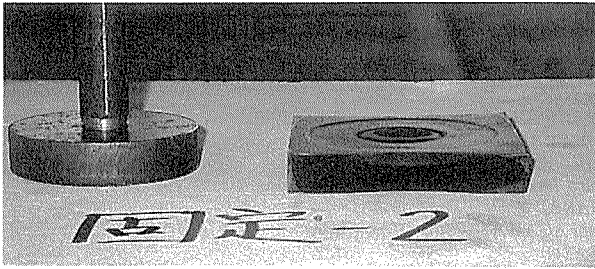


写真-3 ヘッドプレートとセット用スポンジの変形状況（固定）

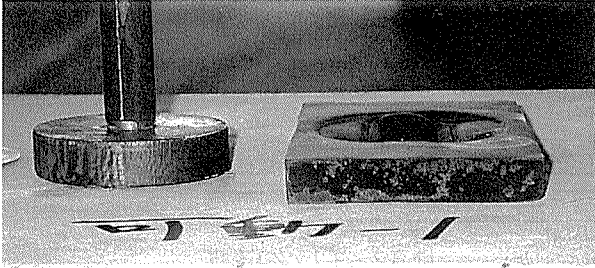


写真-4 ヘッドプレートとセット用スポンジの変形状況（可動）

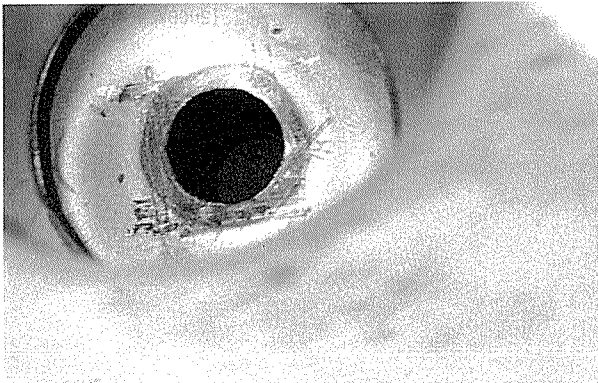


写真-5 型枠プレートの変形状況（固定）

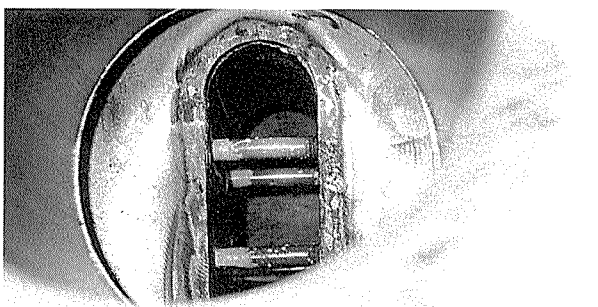


写真-6 型枠プレートの変形状況（可動）

写真-5、6に型枠プレートの変形状況を示す。底面プレートが中央に向かって下側に変形している様子が分かる。供試体コンクリートの下縁中央部の変位は、固定部で40kN載荷時に、可動部で60kN載荷時に急激な変位増加を示しており（図-19、20）、この荷重値で、ヘッドプレート前面のコンクリートの局所的な損傷が起き、アンカーキャップがコンクリートとの付着切れによるずれを起こしたものである。しかし、そのずれは、設計荷重の5倍（ $P=100$

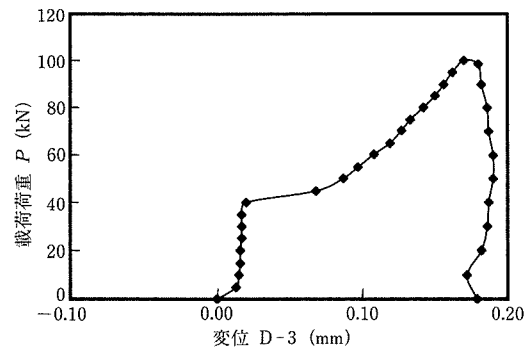


図-19 供試体の荷重-変位（固定：下縁中央）

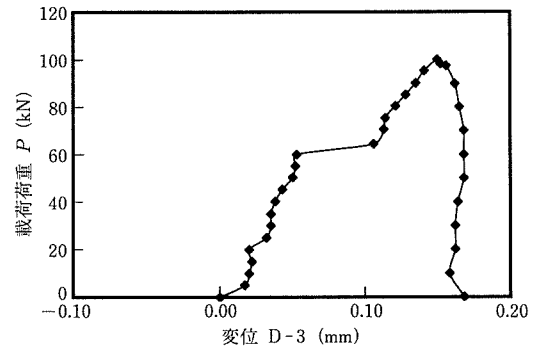


図-20 供試体の荷重-変位（可動：下縁中央）

kN)の荷重下においても微小(0.15mm程度)であり、機能が低下する値ではないと判断する。

4. まとめ

ヘッド付きアンカーにおける地震時上向き力に対する性能把握を目的として、静的引抜き試験を行った。本実験の範囲内で得られた知見を以下にまとめる。

- ① ヘッドプレート・アンカーボルトの母体およびねじ部は、設計荷重の5倍（ $P=100$ kN）の荷重下においても損傷は見られず、十分な耐力を有していることが確認できた。
- ② ヘッドプレートのコンクリート支圧面は、設計荷重（ $P=20$ kN）まで健全な状態であったが、その後の荷重増加により局所的な損傷が発生し、アンカーキャップにずれが生じた。しかし、そのずれは、設計荷重の5倍（ $P=100$ kN）の荷重下においても微小（0.15mm程度）であり、構造的には十分な安全性を有していることが確認できた。
- ③ アンカーボルトの埋込み長は、直径の7倍（ $L=7\phi$ ）に設定したが、設計荷重の5倍（ $P=100$ kN）の荷重下においても押抜きせん断によるひび割れは発生せず、地震時上向き力に対して十分な耐力を確保している。

参考文献

- 1) 土木学会：コンクリート標準示方書 設計編，1996
- 2) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編，1996.12
- 3) 多久和，石田，安松：アンカーバーの耐荷力に関する載荷試験，日本道路公団試験所報告，Vol.26，pp.135～152，1989

委員会名簿

(株)プレストレスト・コンクリート建設業協会 支承検討委員会			
委員長	中條 友義	(Tomoyoshi NAKAJYO)	日本鋼弦コンクリート(株)
副委員長(幹事長)	須田 勤	(Tsutomu SUDA)	オリエンタル建設(株)
委員	高橋 謙一	(Ken-ichi TAKAHASHI)	オリエンタル建設(株)
委員	山根 隆志	(Takashi YAMANE)	極東工業(株)
委員(～99.8)	石井 祐二	(Yuji ISHII)	住友建設(株)
委員(99.9～)	滝 慎一郎	(Shin-ichiro TAKI)	住友建設(株)
委員	原 幹夫	(Mikio HARA)	(株)日本ピーエス
委員	阿川 光敏	(Mitsutoshi AGAWA)	(株)ピー・エス
委員	佐藤 幸一	(Koichi SATO)	(株)ピー・エス
WG委員	蓑田 理希	(Masaki MINODA)	(株)安部工業所
WG委員	中山 良直	(Yoshinao NAKAYAMA)	川田建設(株)
WG委員	木村 良輔	(Ryosuke KIMURA)	興和コンクリート(株)
WG委員	伊藤 良二	(Ryoji ITO)	昭和コンクリート工業(株)
WG委員	毛利 忠弘	(Tadahiro MOHRI)	ドービー建設工業(株)
WG委員	守田 啓司	(Hiroshi MORITA)	ピーシー橋梁(株)
WG委員	中島 禎	(Tadashi NAKASHIMA)	(株)富士ピー・エス
実験主任	今井 昌文	(Masafumi IMAI)	オリエンタル建設(株)
オブザーバー(技術部会長)	野村 貞広	(Sadahiro NOMURA)	(株)ピー・エス
オブザーバー(積算調査部会長)	田口 庸人	(Tsunehito TAGUCHI)	オリエンタル建設(株)
ゴム支承協会 技術委員会			
技術委員長	今井 隆	(Takashi IMAI)	(株)ピーピーエム
技術委員	七戸 文雄	(Fumio Shichinohe)	東京ファブリック工業(株)

【2000年1月18日受付】