

スラブアンカーの静的ずれ耐荷力特性に関する実験的研究

An Experimental Study on Static Shear Strength Characteristics of Slab Anchors under Various Bond Condition

梶田智子*, 平城弘一**, 渡辺 滉***, 高田嘉秀*, 宮地真一*, 牛島祥貴*

Tomoko MASUDA, Hirokazu HIRAGI, Hiroshi WATANABE, Yoshihide TAKADA
Shinichi MIYACHI, Yoshitaka USHJIMA

- * 川田工業株式会社橋梁事業部大阪技術部 (〒550-0014 大阪府大阪市西区北堀江 1-22-19)
 ** 工博 摂南大学工学部土木工学科, 助教授 (〒572-0074 大阪府寝屋川市池田中町 17-8)
 *** 川田工業株式会社橋梁事業部 (〒114-8562 東京都北区滝野川 1-3-11)

On the non-composite girder bridges, connecting round bars called 'slab anchors' are usually installed on the upper flange plate of steel girder. It's known that non-composite girder with the slab anchors have composite action with interaction between concrete slab and steel girder. This paper deals with shear characteristics on the slippage behavior of the slab anchors used in non-composite girder for highway bridges. Static push-out tests were carried out to obtain the useful slippage data (for example; the spring constant, static shear strength, the condition of destruction and others) of the slab anchors. For estimating effects of bond and friction on the surface of concrete slab with steel flange, this tests were performed with various touching face, and push-outed under stress bound condition with restricting by tensioned PC steel bars. Repeated loading tests were also performed to investigate the influence of alternate shearing forces for the bond on touching face.

Key Words: shear characteristics, slab anchors, non-composite girder bridges, bond condition

1. まえがき

一般に、コンクリート床版の合成効果を期待しない非合成桁形式の道路橋は、鋼桁が床版を支持し、車両通過時の衝撃を床版と鋼桁とで受け持ち、また車両の加速・制動、地震等による水平力に対し、床版が所定の位置を確保するためにスラブアンカーを設けるように規定されている¹⁾。そして、スラブアンカーの配置は、1m 以下の間隔で設けるものとし、その径はφ13mm 以上、折り曲げ角度は45°とすることとなっている。これは経験的に決定された配置、形状であり、設計において許容せん断耐力、疲労強度について明確に規定されていないのが現状である。

しかし、最近の研究においてスラブアンカーを用いた非合成桁橋でも十分な合成効果があることが、報告されている^{2), 3), 4), 5)}。この非合成桁橋で実測される合成効果は、鋼桁上フランジとRC床版の付着、スラブアンカーのずれ抵抗力が大きな要因ではないか、と考えられる。設計上スラブアンカーが伝達する水平せん断力は配慮されていないが、非合成桁橋でも合成効果があるため、実際は無視できない大きさの水平せん断力をスラブアンカーが伝達していることになる。また車両の走行に伴い、床版には繰返し水平せん断力が作用することとなり、一般に鋼桁上フランジとRC床版の付着が切れると予想され、その後、スラブアンカーに作用する水平せん断耐力は増加すると考え

られる。

これまでのずれ止めに関する研究は、合成桁橋を対象とし、スタッドジベル⁶⁾、孔あき鋼板ジベル⁷⁾などのものがほとんどで、非合成桁橋に多用されているスラブアンカーに着目した研究は少ない。また、実橋のずれ止めには床版と舗装などの死荷重が作用しているが、これらのずれ止めの強度特性を押抜き試験で明らかにしているため、実物大のずれ止めを使用しているものの、死荷重を考慮した研究は少ない。

そこで、本研究ではスラブアンカーの形状、RC床版と鋼桁上フランジ面との付着に着目し、静的押抜きせん断試験を行ない、せん断耐力とずれ定数の把握、試験後のコンクリートを切断して詳細に破壊性状の確認を行なった。実橋の床版とより近い状態で押抜き試験を行なうため、PC鋼棒により試験体に死荷重相当(床版+舗装)の拘束圧を加え、拘束圧を加えた状態で押抜きせん断試験を行なった。さらに、供用荷重レベルにおける、繰返し荷重を作用させて、鋼桁上フランジとRC床版との付着、せん断耐力に及ぼす影響度も明らかにしている。

2. 実験の概要

2.1 試験体

試験体の諸元と着目要因を表-1に示す。各試験体には

実際の橋梁の床版に作用する死荷重相当 (28kN) の拘束圧を加え、押抜き試験を行う。拘束圧の設定は後述 2.2 節で示す。タイプ SLP1 のスラブアンカーの形状は一般的に非合成形で用いられているものと同様の形状で、鉄筋径 $\phi 16\text{mm}$ 、曲げ上げ角度 45° とし、せん断力の作用方向に対して 30° の向きをもって取付け、図-1 に示す形状である。コンクリート接触面のフランジには鉛系塗装およびパラフィンを塗布することにより付着を除去している。この試験体を基準として、スラブアンカーの鉄筋径および折り曲げ角度が変化すると最大せん断耐力、ずれ定数が変化するかどうかが明らかになる。タイプ SLP2 はタイプ SLP1 の鉄筋径を $\phi 13\text{mm}$ としたもので、タイプ SLP3 は折り曲げ角度を 22.5° としたものである。

タイプ SLB1 はコンクリート接触面の H 鋼フランジ面をブラスト処理したものである。付着の有無の影響をタイプ SLP1 の付着を除去した試験体と比較する。供用中の橋梁では車両の通行により、床版には繰返し水平せん断力が作用する。せん断力が作用することにより、コンクリート接触面の付着が切れることが予想される。タイプ SLB2 はタイプ SLB1 と同じ試験体であるが、200 万回の繰返し荷重を行った後に、押抜き試験を行う試験体である。繰返し荷重の設定は後述 2.2 節で示す。タイプ SLB3 は拘束圧の影響を把握するために拘束圧を加えない状態で試験するための試験体である。

タイプ SLPB は、コンクリート接触面の H 鋼フランジ面をブラスト処理の状態と鉛系塗装およびパラフィンを塗布し、付着を半分にした試験体である。これはタイプ SLP1 と SLB1 の中間的なせん断特性を示すと考えられる。

タイプ P とタイプ B はスラブアンカーの折り曲げ筋のない試験体で、タイプ P は付着を除去した試験体、タイプ B は付着を有する試験体である。折り曲げ筋のあるタイプ SLP1 とタイプ SLB1 とを比較し、折り曲げ筋の最大せん断耐力に及ぼす影響を明らかにするものである。

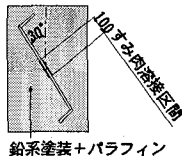
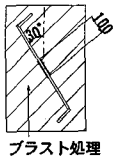
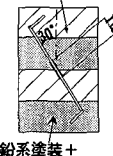
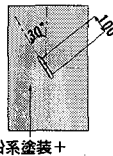
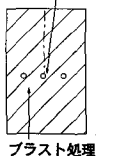
タイプ STB はスタッドジベルを配置した試験体で、コンクリート接触面の H 鋼フランジ面はブラスト処理したものである。スタッドは試験体片面に 3 本ずつ配置し、軸径 $d=19\text{mm}$ 、高さ $h=110\text{mm}$ である。この試験体は、スラブアンカーの試験体 (タイプ SLB1) と直接比較する目的で用意されたものである。

押抜きせん断試験の全試験体は、同一の製作条件と形状寸法で、表-1 に示した試験体についてタイプごとに 3 体ずつ、計 30 体を製作した。試験体の形状寸法および構造細部の概略形状を図-1 に示す。ここで試験体は、実橋の鋼桁上に設置された床版を想定して、文献 8) を参考に H 形鋼のウェブを縦方向に切断した後、スラブアンカーおよびスタッドジベルを正立の状態にしてコンクリートを打設した。コンクリート硬化後に 9mm の添接板を用いて、切断されたウェブを高力ボルトで接合した。なお、使用したコンクリートは、最大粗骨材寸法を 25mm、コンクリートの目標設計基準強度を 30N/mm^2 、その実測圧縮強度は試験直前 (材令 27 日で現場養生) で 25.7N/mm^2 であった。鋼材・鉄筋はそれぞれ SS400・SD295A のものを使用した。

2.2 試験方法

今回の実験では、実際の床版とより近い状態で押抜き試験を行うため、表-2 に示す橋梁を仮定し、床版に作用する死荷重相当分を試験体に作用させた。そのため、試験体のコンクリート床版部に 4 箇所の孔を開け、PC 鋼棒を 4 本配置し、死荷重相当の拘束圧を加えた。PC 鋼棒は両端をねじ切った $\phi 16\text{mm}$ を使用し、均等に拘束圧が加わるよう L 型鋼を上下に配置し、ナットを締め付け、PC 鋼棒を緊張することにより拘束圧を加えた。PC 鋼棒の張力は、表-2 に示す橋梁諸元より、PC 鋼棒 1 本あたり 7kN の張力を導入した。張力の管理は、張力 7kN に対し PC 鋼棒には 174μ のひずみが発生するため、4 本の PC 鋼棒中心付近にひずみゲージを貼り付け、張力導入時のひずみを測定した。目標値 174μ に対し $\pm 10\mu$ を許容範囲として張力の

表-1 試験体の諸元および着目要因

		試験体タイプ									
概 要 図	平面図	SLP1	SLP2	SLP3	SLB1	SLB2	SLB3	SLPB	P	B	STB
	側面図										
付着		なし			あり			半分	なし	あり	
曲げ上げ 角度		45°		22.5°	45°				なし		スタッドジベル 軸径 $d=19\text{mm}$ 高さ $h=110\text{mm}$
鉄筋径		$\phi 16$	$\phi 13$	$\phi 16$							
繰返し		なし				あり	なし				
締め込み		あり					なし	あり			

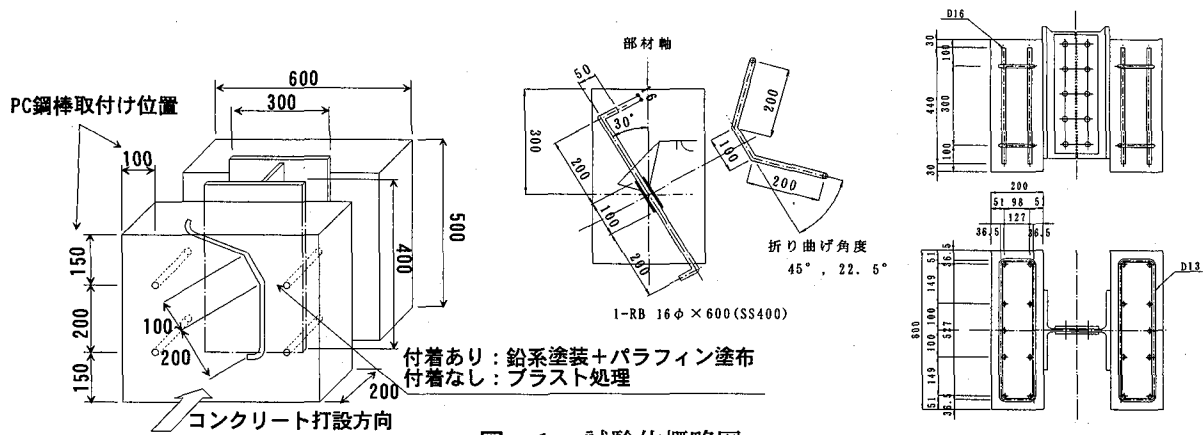


図-1 試験体概略図

表-2 橋梁諸元

橋梁諸元	
橋梁形式	RC床版非合成箱桁 (3BOX)
設計荷重	B活荷重 (4車線)
交通量	23,900台/日/車線
大型車混入率	21.40%
総幅員	22.000 m
試験体に換算した幅員	3.700m
床版厚	230 mm
舗装厚	75 mm
床版の橋直方向の付着幅	300 mm
スラブアンカー配置間隔	1000 mm
1箱桁の断面剛度I	40,045,800 cm ⁴
1箱桁の断面係数Q	142,909 cm ³
鉄筋コンクリート単位体積重量	24.5 kN/m ³
アスファルト単位体積重量	22.5 kN/m ³

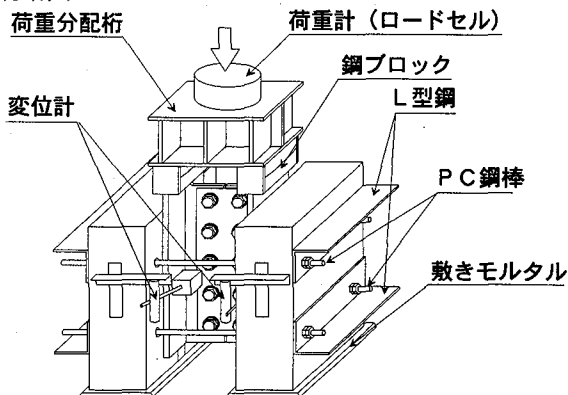


図-2 載荷・計測システム

導入を行った。

押抜きせん断試験は万能試験機を用い、図-2に示すような載荷・計測システムで行うこととした。なお、コンクリートブロック下面には速乾性の無収縮モルタルを敷いて試験体が水平に保持できるようにした。また、載荷部は均等な加力がかかるように鋼ブロック (片側は球座付き) を設け、フランジのみに荷重が作用するようにウェブ部を切削加工した。H形鋼とコンクリートブロックの相対ずれ変位量は鋼とコンクリートの接合部の中央に取り付けた4台の高感度変位計 ($500 \times 10^{-6} / \text{mm}$)、載荷荷重はロードセルを用いて計測した。載荷方法は、変位が0.1mmに達するまで荷重制御による単調増加載荷法、その後、変位制御による漸増繰返し載荷法で行った。最大せん断耐力およびスラブアンカー、スタッドジベルの破壊状態が確認できるまで載荷を行った。試験体に加えた拘束圧の変化を確認するため、押抜き試験中もPC鋼棒のひずみの変化を連続的に測定した。

付着のあるスラブアンカーの試験体のタイプSLB2は押抜き試験前に、繰返し載荷を行なった。この目的は、繰返しせん断力が作用することにより、コンクリート接触面の付着が切れるか否かを知るためのものである。付着面の繰返し載荷の影響およびせん断耐力に及ぼす影響についての検討を行う。荷重の設定は文献9)を参考に疲労設計荷重が作用した時の水平せん断力を荷重振幅とした。表-2に示す対象橋梁の諸元より、疲労設計荷重を算出する。式(1)に疲労設計荷重を示す。

$$\text{疲労設計荷重} = (T \text{ 荷重}) \times \gamma_T \times (1 + i_f) \quad (1)$$

式(1)中のT荷重は200kN、 γ_T は活荷重補正係数、 i_f は疲労設計用衝撃係数である。一方向一車線あたりの日大型車設計交通量 (ADTT_{SD}) は5,115台/日/車線より、活荷重補正係数 γ_T は1.10となる。床版に大きなせん断力が作用する桁端部を対象とすると、疲労設計用衝撃係数 $i_f=0.4$ となる。よって式(1)より疲労設計荷重は308kNとなる。対象とする橋梁 (3箱桁) は4車線より橋梁全体で $308 \times 4 = 1232 \text{ kN}$ 、箱桁1つに作用する疲労設計荷重は $1232/3 = 411 \text{ kN}$ となる。表-2に示す断面剛度より、水平せん断力は 147 kN/m (1箱桁あたり) となる。試験体のコンクリート接触面は $300 \times 400 \text{ mm}$ より、試験体に換算すると水平せん断力は60kNとなり、荷重振幅は60kNとする。よって、載荷荷重の下限値は10kN、上限値は70kNとする。繰返し回数は200万回とした。文献9)より対象橋梁に200万回の疲労設計荷重が作用するのは約2年に相当する。また繰返し速度は5Hzとし、荷重制御で行った。

3. せん断耐力、ずれ定数の評価方法

3.1 最大せん断耐力の評価方法

これまでの研究から、拘束をしていない試験体の押抜き試験では、図-3(a)に示すように作用せん断力-ずれ変位曲線は、通常、作用せん断力の増加に伴い、相対ずれは増加する。そして、せん断力はピーク値を示した後減少する。このピーク値のことを最大せん断耐力 ($Q_{0\text{max}}$) と

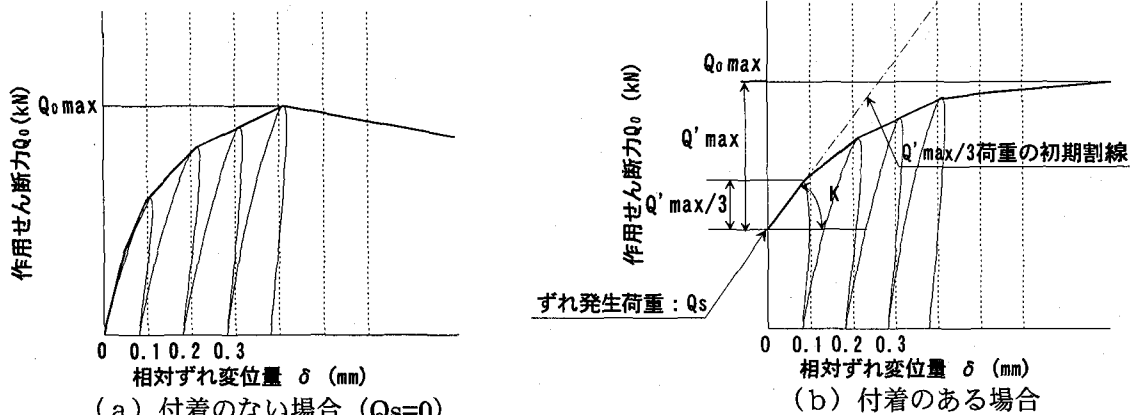


図-3 作用せん断力-ずれ変位曲線から求めるずれ発生荷重と初期割線(ずれ定数)の定め方

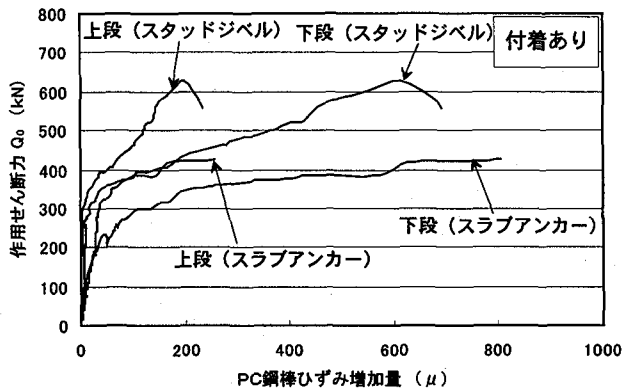


図-4 PC鋼棒のひずみ増加量

している。一方、今回の実験のような場合、図-3 (b) に示すように、多くの試験体で作用せん断力のピーク値を示すことなく、作用せん断力は実験終了時まで増加し続ける傾向であった。これは試験体をPC鋼棒で拘束していることが影響していると考えられる。そのため、実験終了時のせん断耐力を最大せん断耐力と一義的に評価するには問題があるように考えられる。

ここで、図-4にスラブアンカー(タイプSLP1)とスタッドジベル(タイプSTB)の実測の作用せん断力とPC鋼棒のひずみの増加を示す。これらの試験体はともに付着を有する試験体である。押抜き試験は2面せん断で行われるので、1面あたりの作用せん断力は載荷荷重の1/2となる。図-4に示すPC鋼棒のひずみは押抜き試験時の値で、押抜き試験前の初期導入張力7kNによる174 μ のひずみは含んでいない。スラブアンカー、スタッドジベルとも作用せん断力が大きくなると、PC鋼棒のひずみも増加している様子がわかる。図-4から明らかなように、スラブアンカー、スタッドジベルともに、作用せん断力250kNと比較すると、下段のPC鋼棒のひずみ増加量は、上段PC鋼棒のものと比べ約9倍、さらに、作用せん断力400kNではスラブアンカーは約4倍、スタッドジベルで約3倍となっていることが分かる。スラブアンカー、スタッドジベルともに下段PC鋼棒のひずみの増加が顕著であり、試験終了時のスラブアンカーのひずみ増分はスタッドジベルのものと比較して、約4倍という大きな値を示していた。また、スラブアンカーの他の試験体でも同様、PC鋼棒のひずみ増分は大きな値を示す結果となった。このPC鋼棒の

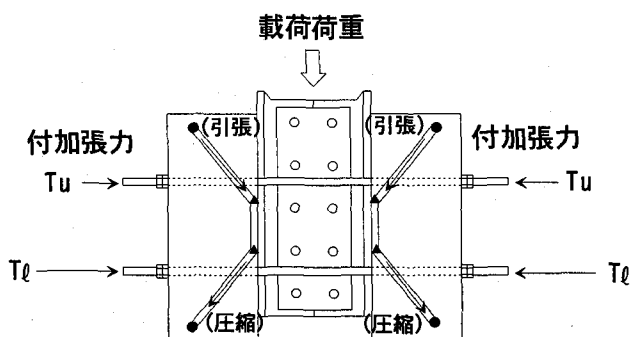


図-5 スラブアンカーの挙動

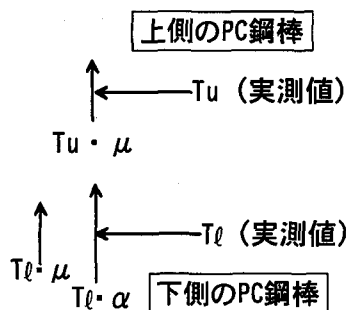


図-6 PC鋼棒の付加張力と摩擦を含んだ分担せん断力の関係

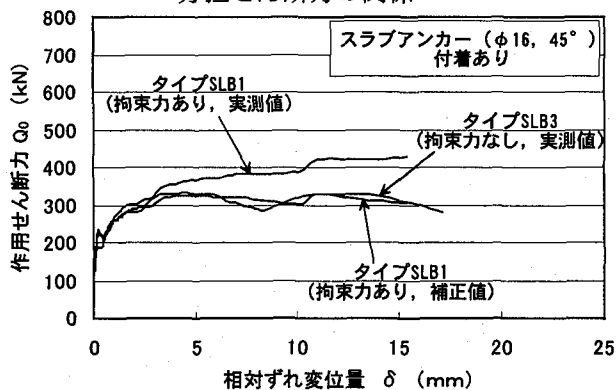


図-7 実測値と補正值の比較

張力の増加、それに伴う拘束による摩擦増分は、押抜き試験の最大せん断耐力に少なからず影響を与えていると考えられる。そこで、本研究では、最大せん断耐力を以下のように評価することにした。

PC鋼棒の張力の増加は図-5に示すように、相対ずれ

進展時に、スラブアンカー上側の折り曲げ筋には引張力が、同時に下側の折り曲げ筋には圧縮力が、それぞれ作用すると考えられる。写真-1、写真-2に試験体の破壊状態を示す。写真-1はタイプSLB1の付着のあるスラブアンカー、写真-2はタイプSLP1の付着のないスラブアンカーである。どちらのタイプでも、スラブアンカー下側の折り曲げ部ではコーン状の支圧せん断破壊が確認され、45°方向にひび割れが入っているのが分かる。

このことから、図-6に示すように、スラブアンカー下側では、PC 鋼棒の付加張力（拘束力） T_l により分担されるせん断力と摩擦力が発生し、拘束することによりコンクリートと H 鋼フランジ面との間のせん断抵抗力が増加する。ここで、付加張力とは作用せん断力の増加に伴う PC 鋼棒の張力の増加を表し、初期導入張力 $7kN$ は含まない。一方、スラブアンカー上側では PC 鋼棒のひずみ増加量が下側 PC 鋼棒の増加量に比べて小さいため PC 鋼棒の付加張力 T_u により分担されるせん断力は小さく、摩擦力の影響が大きいと考えた。よって、PC 鋼棒の付加張力（拘束力）により分担されるせん断力と摩擦力を考慮し、実測の

作用せん断力は式（2）を用いて補正することができると考えた。式（2）を一定拘束圧の最大せん断耐力を算出するための式として提案したい。ここで言う一定拘束圧とは、押抜き試験時に死荷重相当分の拘束力を一定に保持した状態を指す。また、表-3に示すタイプ SLB1 とタイプ SLB3 のずれ発生荷重（ Q_0 ）を比較すると試験体を拘束したタイプ SLB1の方がずれ発生荷重が大きく、一定拘束圧の影響を確認できる。

$$Q = Q_0 - (Q_l + Q_u) \tag{2}$$

$$Q_l = T_l(\alpha + \mu) \quad , \quad Q_u = T_u \cdot \mu \tag{3}$$

ここで、 Q は PC 鋼棒の付加張力（拘束力）と摩擦を考慮したせん断力の補正值、 Q_0 は実測の作用せん断力を表す。 Q_l は下側 PC 鋼棒の付加張力により分担されるせん断力、 Q_u は上側 PC 鋼棒の付加張力により分担されるせん断力で式（3）に示す。式（3）の T_l は実測ひずみから算出された下側 PC 鋼棒の付加張力、 T_u は同じく上側 PC 鋼棒の付加張力を表す。また、式中の μ は摩擦係数で、コンクリ

表-3 押抜きせん断試験のずれ性状

タイプ	諸元	試験体	最大せん断耐力 (kN/面)		ずれ発生荷重 Q_s (kN/面)	ずれ定数 K (kN/mm)
		No.	実測値 Q_{0max}	補正值 Q_{max}		
タイプSLP1	付着なし スラブアンカー 鉄筋径φ16 角度45°	No. A	375.0	268.3	35.0	405
		No. B	389.3	295.8	38.0	418
		No. C	361.5	251.8	46.0	376
		平均	375.3	272.0	39.7	400
タイプSLP2	付着なし スラブアンカー 鉄筋径φ13 角度45°	No. A	311.3	268.3	45.0	269
		No. B	305.5	203.8	55.3	309
		No. C	305.8	226.2	40.3	354
		平均	307.5	232.8	46.8	311
タイプSLP3	付着なし スラブアンカー 鉄筋径φ16 角度22.5°	No. A	347.5	222.8	40.3	510
		No. B	404.5	277.4	65.3	377
		No. C	324.5	220.5	50.5	480
		平均	358.8	240.2	52.0	456
タイプSLB1	付着あり スラブアンカー	No. A	387.0	295.8	184.8	59
		No. B	365.8	302.4	170.0	158
		No. C	428.5	327.3	130.3	141
		平均	393.8	308.5	161.7	119
タイプSLB2	付着あり スラブアンカー 繰返し載荷あり	No. A	455.0	337.2	60.3	1000
		No. B	413.2	299.1	130.3	474
		No. C	497.0	418.7	20.0	994
		平均	455.1	351.7	70.2	823
タイプSLB3	付着あり スラブアンカー 締め込みなし	No. A	333.0	—	126.0	147
		No. B	274.3	—	113.5	190
		No. C	299.5	—	119.3	480
		平均	302.3	—	119.6	272
タイプSLPB	付着半分 スラブアンカー	No. A	387.8	279.6	125.3	184
		No. B	375.3	242.3	135.3	121
		No. C	402.0	314.2	155.3	168
		平均	388.4	278.7	138.6	158
タイプP	付着なし 折り曲げなし	No. A	237.5	140.6	62.0	—
		No. B	225.5	119.7	62.0	—
		No. C	230.3	118.7	38.0	—
		平均	231.1	126.3	54.0	—
タイプB	付着あり 折り曲げなし	No. A	277.3	143.4	145.0	—
		No. B	278.3	134.6	81.8	—
		No. C	297.3	177.1	160.3	—
		平均	284.3	151.7	129.0	—
タイプSTB	付着あり スタッドジベル	No. A	626.3	536.8	190.3	132
		No. B	509.5	390.2	208.3	130
		No. C	638.3	505.2	205.3	131
		平均	591.4	477.4	201.3	131

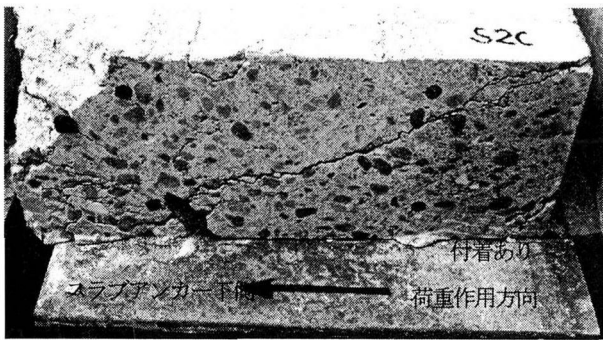


写真-1 破壊状況 (タイプ SLB1)

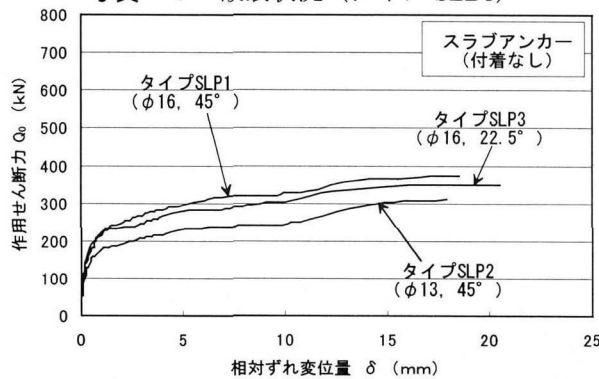


図-8 作用せん断力-相対ずれ変位量

ート接触面が鉛系塗装およびパラフィンを塗布した付着を除去した試験体については $\mu=0.3$, プラスト処理した試験体については $\mu=0.6$ とした¹⁰⁾. 付着が半分のタイプSLPBについては, 付着がある場合と, ない場合の中間の $\mu=0.45$ とした. α は PC 鋼棒の付加張力を考慮した場合のせん断力の分担係数を表し, 下側 PC 鋼棒の付加張力 T と付加的なずれ抵抗力 (分担せん断力) とが等しいとにおいて, スラブアンカーの試験体については, $\alpha=1.0$ とした. 折り曲げ筋のない試験体のときは $\alpha=0$ とした. タイプSLB3 の試験体については PC 鋼棒による拘束を行っていないため, 式 (2) の補正は行っていない. また, スタッジベルの場合は作用せん断力による偏心曲げの影響によりひずみが増加すると考えられるので, $\alpha=1.0$ とした.

式 (2) による補正を行った結果を図-7に示す. この図-7では試験体を PC 鋼棒で拘束し, 付着のあるスラブアンカー (タイプ SLB1) と, 拘束していない付着のあるスラブアンカー (タイプ SLB3) を比較している. 拘束した試験体の作用せん断力-相対ずれ変位量関係は, 本研究で提案した補正法を用いて補正することより, 拘束していない試験体とほぼ同じ傾向を示し, ピーク値が明確となっている. また表-3より付着のあるスタッジベル (タイプ STB) の最大せん断耐力の補正值 ($Q_{\max}$) の平均値は 477.4kN/面で, スタッジベル 1 本あたり 159.1kN/本であった. 文献6) より, 付着を除去し, 試験体の拘束を行っていないスタッジベル 1 本あたりの最大せん断耐力は 153.6kN/本であり, $\alpha=1.0$ は妥当であったと考えられる. なお本研究の実験と文献6) の実験での最終破壊形態は, ともにスタッジベルの破断であり, 最大せん断耐力に及ぼすコンクリート強度の影響は少ないと考えられる. これ

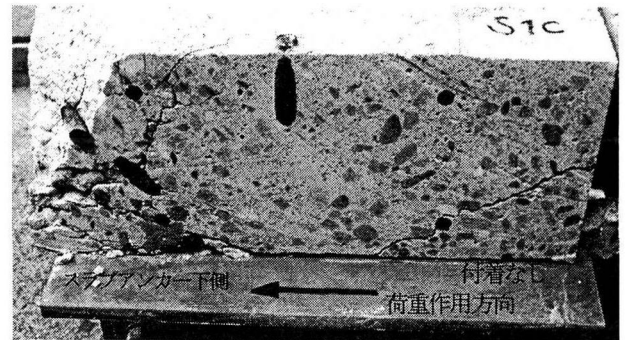


写真-2 破壊状況 (タイプ SLP1)

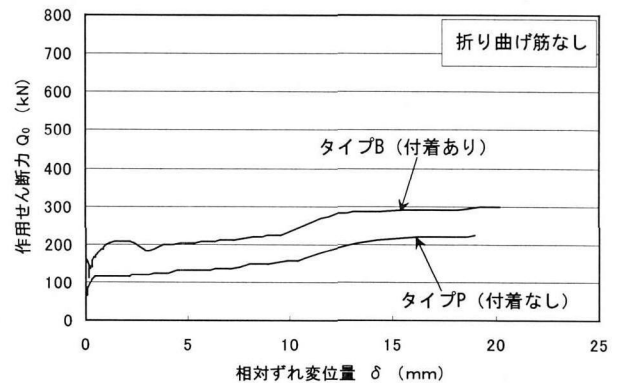


図-9 作用せん断力-相対ずれ変位量

らのことから, ずれ性状および最大せん断耐力を評価するのに, 本研究で提案したせん断力の補正方法は妥当であることが確認できた.

3.2 ずれ定数の算定方法

本研究の実験では, コンクリート接触面の付着を考慮した試験体があること, 拘束圧を加えて実験を行なっていることにより, 図-3 (b) に示すようなずれ発生荷重 (Q_s) が存在している. そのため, ずれ定数 (K) はずれ発生荷重 (Q_s) を原点とし算出することとした. 図-3 (b) に示すように, 実測の最大せん断力 ($Q_{0\max}$) から, ずれ発生荷重を差し引いた値 $Q'_{\max} (=Q_{0\max}-Q_s)$ を $1/3$ にした $Q'_{\max}/3$ 荷重点と原点であるずれ発生荷重とを結んだ初期割線の傾きとした. このずれ発生後のずれ定数をずれ定数として評価している. これは文献8) に従い $Q_{0\max}/3$ 荷重点を適用すると, 付着が支配的で付着が切れるまで相対ずれの進行が起こらず, 矛盾が生じたためである. ずれ発生荷重, 最大せん断耐力およびずれ定数 (K) を表-3に示す. なお, 折り曲げ筋のない試験体については, 初期のずれ剛性は付着による要因が大きく, 他の試験体と異なるため, ずれ定数の比較は困難であるため, ずれ定数の算出を行わないことにした.

4. 試験結果

4.1 せん断耐力とずれ性状

(1) スラブアンカー形状の影響

スラブアンカーの形状を変化させた場合の試験体の作用せん断力-相対ずれ変位量を図-8に示す. 図の縦軸は実測の作用せん断力で, 試験体は2面せん断のため, 載荷

荷重を1/2し、フランジ1面あたりの値とした。鉄筋径φ16mm(タイプ SLP1)とφ13mm(タイプ SLP2)を比較すると、鉄筋径が小さくなるとせん断耐力は小さくなる。表-3に示す最大せん断耐力の補正值(Q_{max})も若干鉄筋径φ16mmの方がφ13mmのものに比べて大きくなっている。ずれ定数(K)は鉄筋径φ16mmの方が約2倍程度大きくなっている。折り曲げ角度45°(タイプ SLP1)と22.5°(タイプ SLP3)を比較すると、最大せん断耐力の補正值(Q_{max})、ずれ定数(K)に大差はなかった。破壊性状は3タイプともコンクリートの圧壊が支配的で、スラブアンカー下側の折り曲げ筋先端からコーン状の押抜きせん断破壊が確認された。

また、折り曲げ筋のないスラブアンカーの試験結果を図-9に示す。折り曲げ筋のあるタイプ SLP1 に比べて、折り曲げ筋のないタイプ P のせん断耐力は小さくなっている。これより、スラブアンカーの折り曲げ筋は最大せん断耐力に大きく寄与していることが明らかになった。

(2) 付着の影響

付着を除去したスラブアンカー(タイプ SLP1)と付着のあるスラブアンカー(タイプ SLB1)の作用せん断力-相対ずれ変位量の関係を図-10に示す。付着の影響があるため、せん断耐力は付着のある試験体の方が大きかった。また表-3に示す最大せん断耐力の補正值(Q_{max})も付着のあるタイプの方が大きかった。これは付着のある試験体は、表-3に示すように、ずれ発生荷重(Q_s)が大きいためである。表-3に示すずれ定数(K)は付着を除去した試験体の方が大きかった。これは付着のある試験体は、鋼フランジに接するコンクリートの界面がせん断破壊を起こし、付着が切れ、一気にずれが進行するためである。付

着が切れる時まで作用していたせん断力はスラブアンカーに集中して作用し、相対ずれ変位量が大きくなるためである。また、付着半分の試験体(タイプ SLPB)は、最大せん断耐力の補正值(Q_{max})、ずれ発生荷重(Q_s)、ずれ定数(K)とも付着のある試験体と付着を除去した試験体の間に位置する結果であった。

(3) 繰返し载荷試験結果

繰返し载荷後、押抜き試験を行った試験体(タイプ SLB2)と繰返し载荷を行っていない試験体(タイプ SLB1)の作用せん断力-相対ずれ変位量の関係を図-11に示す。表-3より、ずれ発生荷重は、繰返し载荷を行った試験体の方が小さく、繰返し载荷をすることにより、鋼フランジに接するコンクリートの界面で若干せん断破壊を起こしたのではないかと考えられる。ずれ定数(K)は繰返し载荷を行った方が大きかった。これは、繰返し载荷をすることにより、付着の影響が小さくなり、ずれ発生荷重が小さくなっているからである。さらに、繰返し载荷を受けても、作用せん断力-相対ずれ変位量の関係が付着のないスラブアンカーの試験体と同じような形状を示していたからである。しかしながら、最大せん断耐力の補正值(Q_{max})は繰返し载荷を行った試験体の方が大きくなる、という結果になった。繰返し载荷前に導入したPC鋼棒のひずみの測定値と、繰返し载荷終了後に測定した測定値に大差はなかった。よって、試験体を拘束したことが影響しているとは考えられない。繰返し载荷をすることにより、作用せん断力が試験体のスラブアンカーに均等化されて作用したのではないかと考えられる。このことについては、試験体数も少ないこともあって、推論の域を出ないと考えている。繰返し载荷を行った試験体と、行っていない試験体の

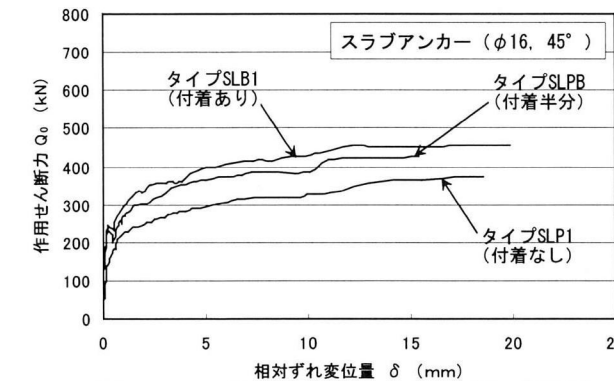


図-10 作用せん断力-相対ずれ変位量

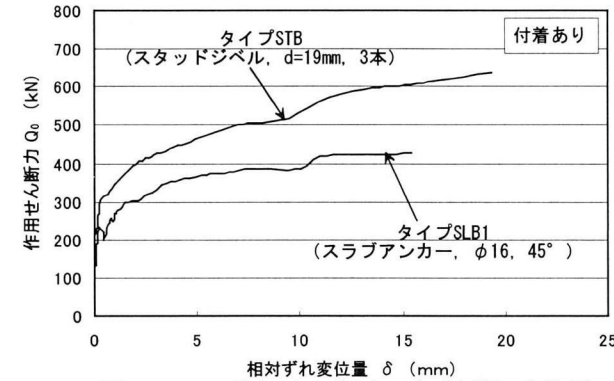


図-12 作用せん断力-相対ずれ変位量

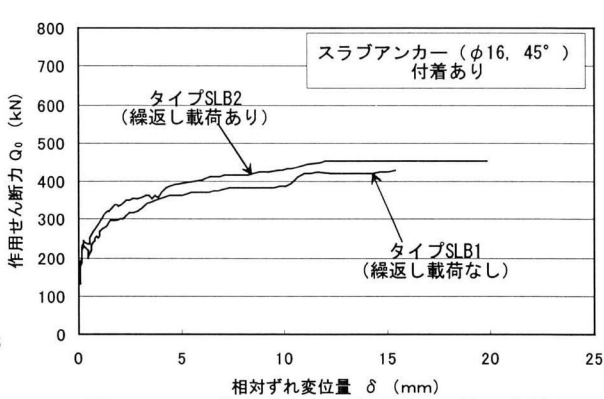


図-11 作用せん断力-相対ずれ変位量

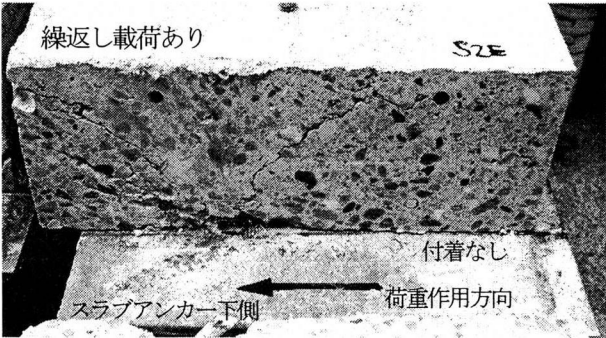


写真-3 破壊性状 (タイプ SLB2)

破壊状態をそれぞれ写真-2、写真-3に示す。ともにスラブアンカー下側の折り曲げ部の根元での圧壊が起こっている。しかし繰返し荷重を行った試験体は、せん断力が均等に作用していると考えられるため、繰返し荷重を行っていない試験体に比べ、圧壊はそれほど激しくはなかった。

(4) スタッドジベルとの比較

スラブアンカーとスタッドジベルの作用せん断力-相対ずれ変位量の関係を図-12に示す。付着のあるスラブアンカーの試験体(タイプSLP1)、付着のあるスタッドジベルの試験体(タイプSTB)である。スラブアンカーの最終破壊状態はスラブアンカー下側の折り曲げ筋根元でのコンクリートの圧壊であった。そして、スラブアンカーの破断は見られなかった。一方、スタッドジベルは溶接余盛り上面のスタッド軸部でせん断破断しており、スタッド根元付近ではコンクリートの局所的な圧壊が確認された。

最大せん断耐力の補正值(Q_{max})は、表-3に示すとおり、タイプSLB1のスラブアンカーの場合、308.5kN/面である。一方、スタッドジベルの試験体は477.4kN/面である。試験体片面にスタッドジベルを3本配置しているので、スタッドジベル1本あたり159.1kN/本であった。このことから、1個のスラブアンカー($\phi 16\text{mm}$)の最大せん断耐力は2本のスタッドジベル($d=19\text{mm}$)とほぼ同じであることが分かった。

5. まとめ

本研究では、スラブアンカーの合成効果を明らかにするため、試験体をPC鋼棒で拘束し、実橋に近い状態で押抜きせん断試験を行なった。本実験で得られた結果を以下にまとめる。

(1)試験時に発生するPC鋼棒のひずみ計測に基づいて、死荷重相当の付加張力(拘束力)の変化を考慮し、実測のせん断耐力を、一定拘束圧の最大せん断耐力に補正する方法を提案した。拘束圧があり付着が支配的な試験についてのずれ定数の定め方も提案した。

(2)スラブアンカーの径は、最大せん断耐力とずれ定数に与える影響が大きかった。しかし、折り曲げ角度は最大せん断耐力、ずれ定数にそれほど大きな影響を与えないことも明らかになった。破壊性状はスラブアンカーの鉄筋径、折り曲げ角度に関係なく、下側の折り曲げ部前面のコンクリートの圧壊が支配的であり、また、スラブアンカーの折り曲げ筋先端からコーン状の押抜き破壊が確認された。そして、スラブアンカー自体の破断は確認されなかった。また、スタッドジベルと比較し、スラブアンカー($\phi 16\text{mm}$)1個あたりの最大せん断耐力はスタッドジベル($d=19\text{mm}$)2本に相当することが分かった。

(3)スラブアンカーを溶接する鋼フランジ面に付着があることにより、最大せん断耐力は大きくなる。しかしながら、付着がある場合のずれ発生後のずれ定数は、付着がない場合よりも小さくなっている。また、試験後にコンクリートを切断し、その切断面の観察から付着の有無に関係なく、破壊性状はスラブアンカーの折り曲げ筋根元のコンク

リートの局部圧壊が支配的であることが分かった。

(4)疲労設計荷重レベルで繰返し載荷を200万回作用させた結果、繰返し荷重を載荷させることにより、RC床版と鋼桁上フランジ面の付着は切れやすくなることが分かった。また繰返し試験を行なうことにより、せん断耐力は大きくなった。これは、繰返し荷重を作用させることにより、作用せん断力がスラブアンカー自身に均等に作用するのではないかと考えられるからである。

今後の課題として、スラブアンカーの合成効果をより一層高めるために、RC床版と鋼桁上フランジ面とに強制付着を持たせることが考えられる。これらについても継続的な検討を加えていきたい。

謝辞:本実験を行うにあたり、多大なご助力を頂いた摂南大学工学部の学部生である渡邊慶介と永禮万裕の両君に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) (社)日本道路協会:道路橋示方書・同解説(鋼橋編), 丸善株式会社, 1996年12月。
- 2) 松井繁之, 平城弘一, 石崎 茂:スタッドの非合成桁橋への適用に関する研究, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.19, No.2, 1997。
- 3) 中島章典, 池川真也, 土橋健治, 阿部英彦:非合成桁橋スラブ止めの動的水平せん断伝達性状と疲労強度, 鋼構造年次論文報告集, 第2巻, 1994年11月。
- 4) 中島章典, 池川真也, 森内大介, 西園広之, 大江浩一, 阿部英彦:非合成桁橋スラブ止めの水平せん断ずれ性状と疲労強度について, 第3回合成構造の活用に関するシンポジウム論文講演集, 1995年11月。
- 5) 山田真幸, 市川篤司, 三木千壽, Satom PENGPHON, 入部孝夫:非合成桁橋梁のRC床版と上フランジの付着によるせん断強度の研究, 土木学会第54回年次学術講演会講演概要集, I-A143, pp286~287, 1999。
- 6) 保坂鐵矢, 平城弘一, 小枝芳樹, 橘 吉宏, 渡辺 滉:鉄道用連続合成桁に用いるずれ止め構造のせん断特性に関する実験的研究, 構造工学論文集, Vol.44A, pp1497~1504, 1998。
- 7) 保坂鐵矢, 光木 香, 平城弘一, 牛島祥貴, 橘 吉宏, 渡辺 滉:孔あき鋼板ジベルのせん断特性に関する実験的研究, 構造工学論文集, Vol.46A, pp1593~1604, 2000。
- 8) 日本鋼構造協会:頭付きスタッドの押抜き試験方法(案)とスタッドに関する研究の現状, 1991年。
- 9) (社)日本道路協会:鋼道路橋の疲労設計要領(案), 1999年12月。
- 10) 徳光 卓, 山崎竹博, 出光 隆, 村上忠彦:鋼・モルタル合成部材接合面の処理方法と摩擦性状, 土木学会第50回年次学術講演会講演概要集, V-403, pp806~807, 1995。

(2000年9月14日 受付)