

論文 スタッドの非合成桁橋への適用に関する研究

松井繁之^{*1}・平城弘一^{*2}・石崎 茂^{*3}

要旨: 近年、非合成桁橋に用いられているスラブアンカーが疲労によると思われる破壊がしばしば発見される。特殊な溶接による低疲労強度が問題である。そこで、本研究の目的は、このような構造形式のスラブアンカーの代用品として、若干の工夫を与えた頭付きスタッドが適用できるか否かを検討するものである。ここで、スラブアンカー以上の柔なずれ止め性状をスタッドに求めた新しい利用法を提案した。一連の新形式スタッドを用いた押抜き試験およびはりの曲げ試験の結果より、提案した新スタッドが非合成桁の結合材に適用可能となった。

キーワード: 非合成桁橋、スラブアンカー、スタッド、ウレタン、柔なずれ止め

1. はじめに

最近、非合成のプレートガーダーおよびボックスガーダーに使用されているスラブアンカーが疲労による破壊を引き起こしていることがしばしば発見されている。その場合、鋼桁とコンクリート床版とが遊離を起し、この遊離間から発せられる騒音が社会問題となる恐れがある。その対策として床版と主桁の遊離箇所をPC鋼棒で緊結された事例がある [1]。非合成桁のスラブアンカーが疲労破壊に至るメカニズムは、現在のところ明解ではないが、床版作用による橋軸直角方向の曲げによる疲労現象である。スラブアンカーの水平部の溶接止端部で破断していることが認められている。

スラブアンカーを用いた非合成桁橋でも載荷実験によって合成効果が十分あるとの多数の報告があり、よりずれ剛性を小さくする必要がある。

そこで、本研究では非合成桁において、スラブアンカーの代わりに頭付きスタッドを使用することを提案したい。非合成にするため、通常のスタッドに写真-1に示すように、スタッド根元部にウレタンなどのスポンジを巻付けることによって、ずれ剛性を小さくすることを考えている。これにより、非合成にスタッドを使用してもスラブアンカー以上の非合成挙動が期待できると思われる。この新形式スタッドを使用して「ずれ」を認める構造形式にした場合、スタッドに作用する水平せん断力は再配分によって低減し、さらに、活荷重による水平せん断力変動範囲も小さくなり、疲労に対しても、有利な構造形式になると考えられる。既往の研究 [2] において、H形鋼のウエブに発泡スチロールを張付けたものを「柔なずれ止め」として開発したものがあがるが、スタッドを使用した方が床版との連結性が優れていると考えられる。

一方、連続合成桁における負の曲げモーメントに対

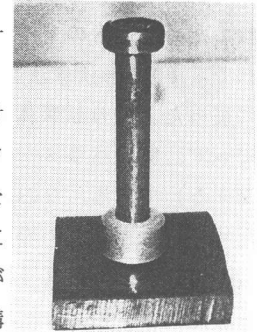


写真-1 新スタッド

表-1 押抜き試験体の種類(シ-ス[†] I)

タイプ	ずれ止め	ウレタン(高さ) ¹⁾	コンクリートの強度特性
A	スタッド*	なし	$f_c' = 2950 \text{ N/cm}^2$ $f_t = 235 \text{ N/cm}^2$ $E_c = 235.6 \times 10^4 \text{ N/cm}^2$
B	スタッド*	あり (2 cm)	
C	スタッド*	あり (3 cm)	
D	スタッド*	あり (4 cm)	
E	スラブアンカー	なし	

1)ウレタンの厚さは 9mm で、スタッド* 根元部の全周に巻いた。

*1 大阪大学教授 工学部土木工学科、工博 (正会員)
 *2 摂南大学助教授 工学部土木工学科、工博 (正会員)
 *3 (株)酒井鉄工所 橋梁設計部部長

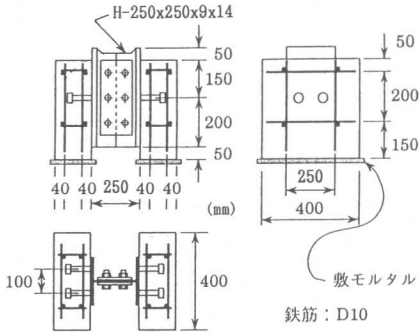


図-1 押抜き試験体の形状寸法

処する方法に、「ずれ」を認めるずれ止めの使用が考案されている [3]。これは負曲げ領域のRC床版の分担軸方向力のピークを低減させるのに役立つものである。今後、ここで提案する新スタッドは、連続合成桁にも寄与できるものである。

表-2 はり試験体の種類(シリーズ II)

タイプ	ずれ止め		ウレタン ¹⁾	プレロード ²⁾ (10x10 ⁴ 回)	コンクリートの強度特性
	種類	間隔(mm)			
A	-1	スタッド	225	なし	あり
	-2	〃	〃	あり	〃
	-3	〃	〃	〃	なし
B	-1	スタッド	300	なし	あり
	-2	〃	〃	あり	〃
	-3	〃	〃	〃	なし
C	-1	スタッド	450	なし	あり
	-2	〃	〃	あり	〃
	-3	〃	〃	〃	なし
D	-1	スラブアンカー	290	なし	あり
	-2	〃	〃	〃	なし
E	-1	スラブアンカー	435	なし	あり
	-2	〃	〃	〃	なし

¹⁾リウは厚さ9mmのものを、スタッド根元部の全周に高さ4cmまで巻き付けた。
²⁾静的曲げ試験に先立ち、一部のはりについては、設計荷重時の繰返し荷重を載荷した。このことより、鋼とコンクリートとの間に働く付着力は完全に取り除かれていると考えられる。(設計荷重:Cタイプのスタッドから算出された許容せん断力範囲に基づくもので、10万回繰返し載荷した(P_{min}=2.5kN, P_{max}=17.4kN)。

今回、ウレタン付きスタッドのずれ効果を確認するため、押抜き試験とはり試験を実施した。

2. 試験体の種類と試験方法

表-1に押抜き試験体の種類とコンクリートの強度特性を示す。実験パラメータとしてスタッド根元部へ巻付けるウレタンの根元からの高さとし、ウレタンの厚さは9mmのものを使用した。比較のため、通常のスタッドとスラブアンカーのものも同時に製作している。図-1に押抜き試験体(シリーズ I)の形状寸法を示す。この試験体の製作はJSSCの頭付きスタッドの押抜き試験方法(案)に従った。はり試験体(シリーズ II)の種類とコンクリートの強度特性を表-2、その形状寸法を図-2に示す。実験パラメータとしてスタッド間隔とプレロード(静的試験に先立って繰返し荷重を載荷する)である。なお、比較のため、押抜き試験の場合と同様に、はり試験でもスラブアンカーの間隔を変化させたはり試験

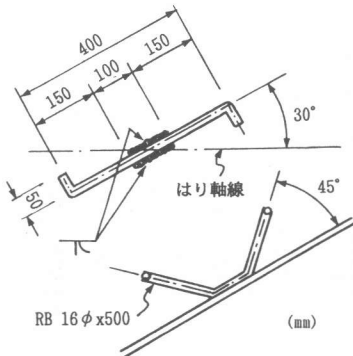


図-3 スラブアンカーの詳細

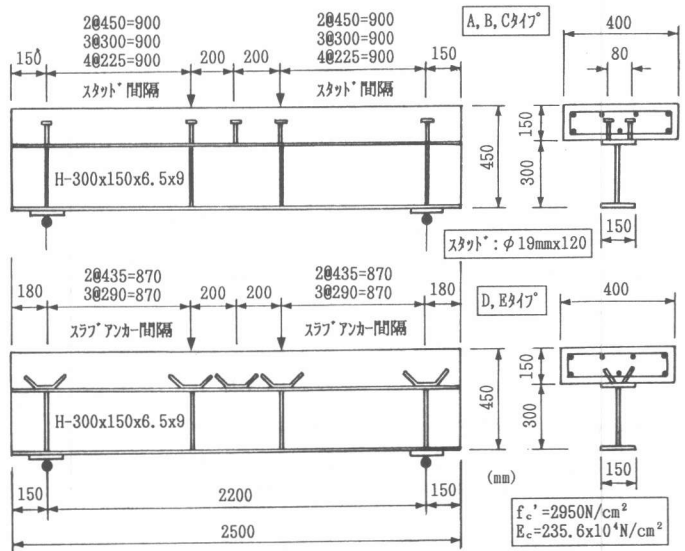


図-2 はり試験体の形状寸法

体も用意されている。スタッド根元のウレタンは、すべての試験体に対して、厚さが 9mm で、高さ 4cm とした。図-3に今回使用したスラブアンカーの詳細を示す。スラブアンカーは「はり軸線(押抜き試験では載荷方向)」に対して 30° 傾けて取り付けられている。

3. 試験結果および考察

3.1 押抜き試験結果

表-3にシリーズ I の静的押抜き試験結果を示す。

(1) 最大せん断耐力 (Q_{max})

表-3より明らかなように、最大せん断耐力は、スラブアンカーを除いて、ほぼ同じであった。これより、今回のスタッドでは

Q_{max} はスタッド根元部のウレタンの有無に関係がないと言える。今回の押抜き試験の破壊形式が、スラブアンカーを除いて、すべてスタッド自身のせん断破壊であったためである。スラブアンカーの Q_{max} は、既往の研究 [4] と同様に、スタッドのものに比べて若干低い値を示すものの、スラブアンカー ($\phi 16\text{mm}$) 1 個とスタッド ($\phi 19\text{mm}$) 2 本分がほぼ同程度であることが分かる。このことより、スラブアンカーの結果は、スタッドと同様に、作用荷重を 4 で割って整理している。

(2) ずれ定数、降伏せん断耐力および最大ずれ量

表-3より、ずれ定数では通常スタッド (Aタイプ) とスラブアンカー (Eタイプ) は同程度で、ウレタンを有するスタッド (B-Dタイプ) はウレタンの高さが増すごとに低下していることが分かる。相対ずれ 0.2mm のオフセット量で求めた降伏せん断耐力では、AタイプとEタイプは同程度で、B~Dタイプからはウレタンの高さに逆比例していることが分かる。最大ずれ量ではEタイプがA

表-3 静的押抜き試験結果

タイプ	最大せん断耐力 Q_{max} (kN)	ずれ定数 ¹⁾ K (kN/cm)	降伏せん断耐力 ²⁾ Q_v (kN)	最大ずれ量 ³⁾ δ_{max} (mm)	破壊形式 (スリット:ウレタン)	
A	-1	134.3	2267	87.60	7.5	スタッド
	-2	146.0	2472	85.42	9.5	〃
	-3	182.3	2345	91.67	11.3	〃
	平均	154.2	2361	88.20	9.4	(スタッド: なし)
B	-1	149.9	1360	35.42	15.6	スタッド
	-2	167.6	1214	39.58	17.5	〃
	-3	145.0	1360	42.71	14.3	〃
	平均	154.2	1311	39.24	15.8	(スタッド: 2 cm)
C	-1	156.8	1133	29.17	19.8	スタッド
	-2	155.8	907	27.17	18.5	〃
	-3	149.0	1360	39.58	17.5	〃
	平均	153.9	1133	31.97	18.6	(スタッド: 3 cm)
D	-1	155.8	567	27.08	16.7	スタッド
	-2	165.6	756	21.88	17.6	〃
	-3	173.5	850	27.08	17.7	〃
	平均	165.0	724	25.35	17.3	(スタッド: 4 cm)
E	-1	139.2	2267	87.60	6.4	コンクリート
	-2	123.5	2473	81.25	2.8	〃
	-3	136.2	2473	80.21	4.1	〃
	平均	133.0	2404	82.99	4.4	(スラブアンカー)

1) ずれ定数(K): 荷重-ずれ曲線における初期接線の傾き(初期ずれ剛性)、
 2) 降伏せん断耐力(Q_v): 初期ずれ剛性をずれ量 0.2mm まで 17セットしたときの荷重、
 3) 最大ずれ量(δ_{max}): 最大せん断耐力の到達時に発生する相対ずれ量、
 ※ 各タイプの「-3」の試験体は単調増加荷重法で、他は漸増繰返し荷重法で試験した。

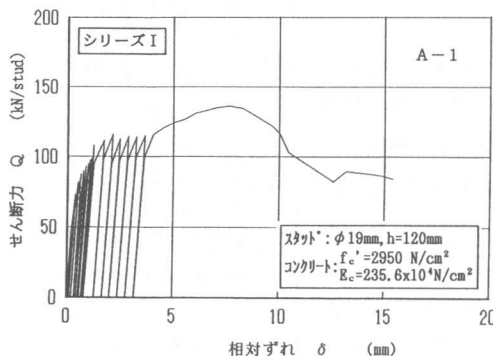


図-4 荷重-相対ずれ関係(A-1)

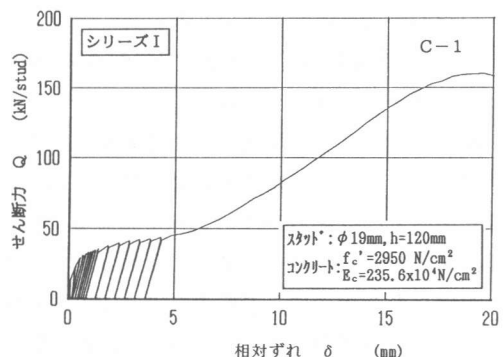


図-5 荷重-相対ずれ関係(C-1)

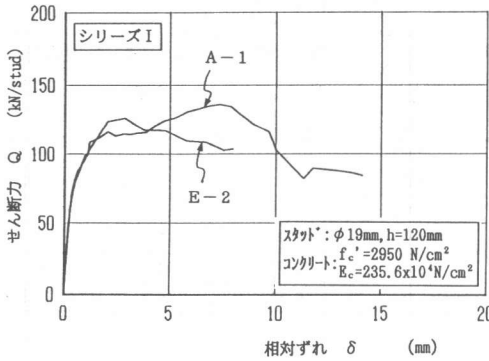


図-6 荷重-相対ずれ関係(A-1・E-2)

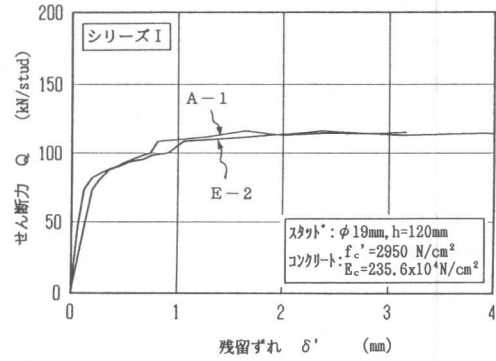


図-7 荷重-残留ずれ関係(A-1・E-2)

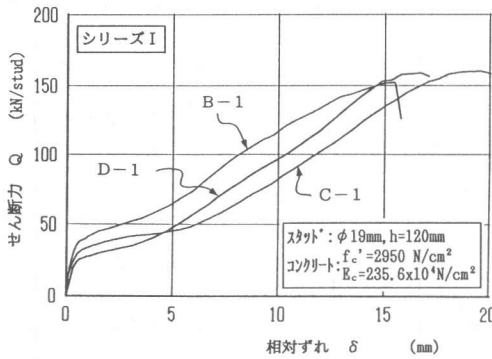


図-8 荷重-相対ずれ関係(B-1・C-1・D-1)

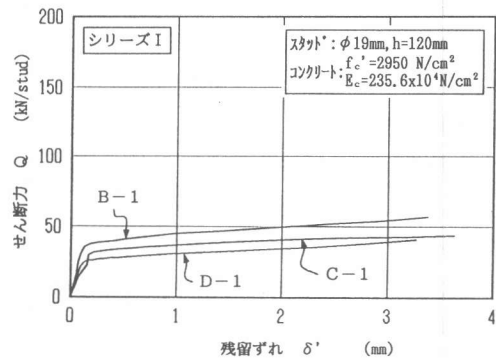


図-9 荷重-残留ずれ関係(B-1・C-1・D-1)

タイプのほぼ半分であること、またウレタンを有するスタッドでは高さ3cm(タイフ)のものが最も大きいことが分かる。本試験結果より、Cタイプのようなスタッドは、靱性が高く、耐荷力が通常のスタッドと変わらない形で利用することができることが分かった。

(3) ずれ性状

図-4～5に漸増繰返し載荷で得られた代表的なせん断力-相対ずれ関係を示す。これらの図より明らかなように、ウレタンの有無がスタッドのずれ性状に大きく影響を及ぼしていることが分かる。また、除荷曲線の傾きを同程度のずれ量で比較した場合、ウレタンがあるスタッド(C-1)の方が通常のスタッド(A-1)より緩い、つまり大きな復元力をもっていることが分かる。

図-6～7に通常のスタッドとスラブアンカーとのせん断力-相対・残留ずれ関係を比較したものを示す。ここで、残留ずれとは漸増繰返し載荷法で得られる徐荷したときのずれ量で、関係図の縦軸のせん断力は徐荷寸前の作用せん断力を使っている。相対・残留のずれ性状とも両者には違いがないことが分かる。図-8～9は、ウレタンを有するスタッドの相対・残留のずれ性状を示したものである。これらより明らかなように、通常のスタッドに比べて、約1/3～1/4の荷重で大きくずれが発生する。約4mmまで荷重増なしでずれるが、スタッド自身は全く降伏していないと思われる。

表-4 静的曲げ試験結果

タイプ	破壊荷重 P (kN)	破壊形式	
A	-1	396.9	鋼桁が降伏した後、コンクリート床版が圧壊した。
	-2	401.8	
	-3	377.3	
B	-1	399.4	
	-2	360.2	
	-3	360.2	
C	-1	365.1	
	-2	345.5	
	-3	318.5	
D	-1	367.5	
	-2	370.0	
E	-1	350.4	
	-2	352.8	

※ 試験はすべて漸増繰返し載荷法で行った。
破壊荷重(P): 最大荷重(kN)

3.2 はり試験結果

表-4にシリーズIIの静的曲げ試験結果を示す。

(1) 曲げ耐荷力

表-4より明らかなように、曲げ耐荷力はすべて同程度であった。破壊形式は鋼ばりが降伏した後、コンクリート床版が圧壊するものであった。また、今回の試験ではプレロードの影響は、曲げ耐荷力のほか、ひずみ、たわみおよびずれの力学性状において観察できなかった。

(2) ひずみ分布

図-10~11に100kNと200kNの荷重(P)時におけるはりの高さ方向のひずみ分布を示す。図-10から明らかなように、設計荷重相当のP=100kNでは通常のスタッドとスラブアンカーのいずれもひずみが平面保持しているが、P=200kNになると、若干平面保持が崩れるが、まだ十分な合成効果がある。一方、ウレタン付きスタッドの方は各タイプとも、鋼とコンクリートの接触面でひずみの不連続が生じ、明確に非合成挙動を示していることが分かる。

(3) たわみ性状

各タイプのスパン中点における荷重-たわみ関係を図-12~13に示す。同図には完全合成ばり、重ねばりおよび鋼ばりの計算値も参考のために併記されている。図-12から明らかなように、通常のスタッドとスラブアンカーのたわみ性状は全く同様である。設計荷重のP=100kNではいずれも完全合成ばりの計算値に近いことが分かる。一方、同様にウレタン付きスタッドの方は完全合成ばりと重ねばりの計算値の間で、重ねばりに近いたわみ挙動を示している。

図-14は、P=200kN載荷時での各タイプのスパン方向のたわみ分布を示したものである。

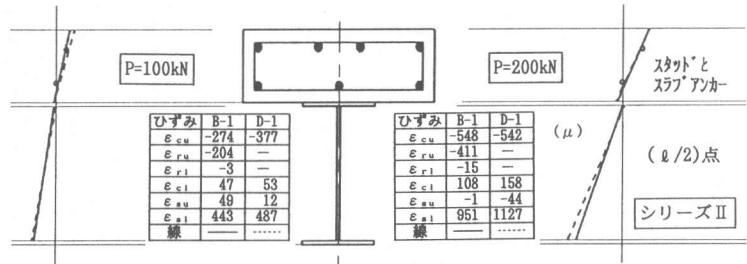


図-10 ひずみ分布図(通常のスタッドとスラブアンカー)

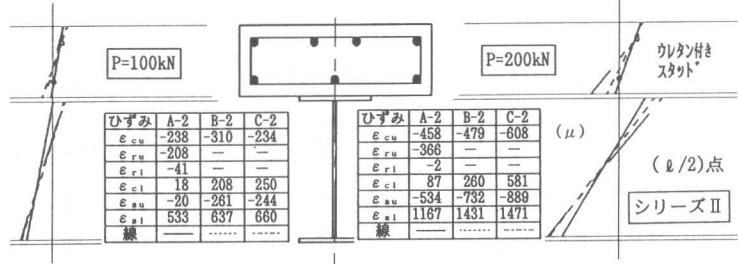


図-11 ひずみ分布図(ウレタン付きスタッド)

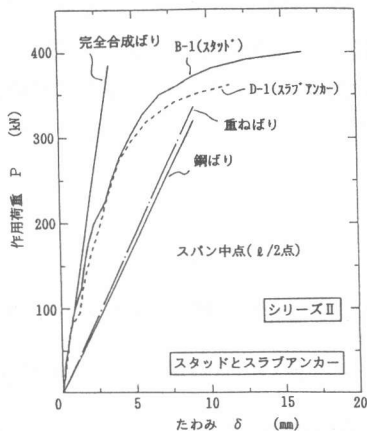


図-12 荷重-たわみ関係(B-1・D-1)

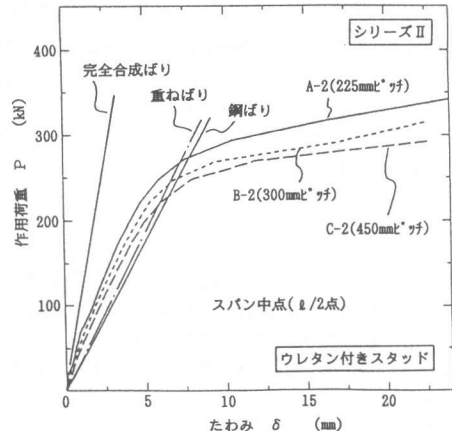


図-13 荷重-たわみ関係(A-2・B-2・C-2)

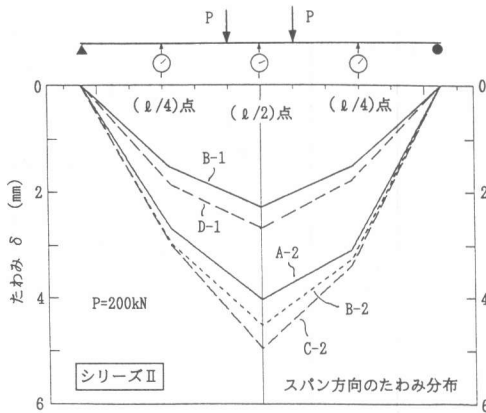


図-14 スパン方向のたわみ分布

(4) ずれ性状

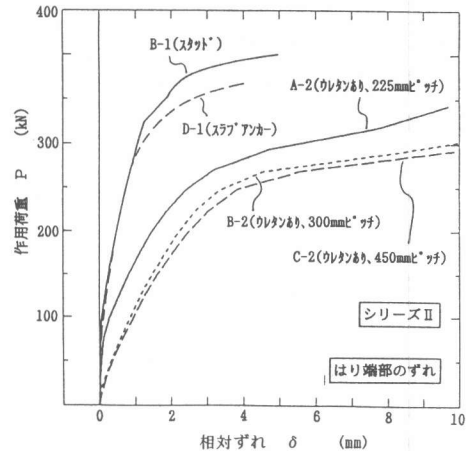


図-15 荷重-相対ずれ関係(はり端部)

図-15に各タイプのはり端部における荷重-相対ずれ関係を示す。この図から、通常のスラットとスラブアンカーのずれ性状は、たわみ性状と同様に、終局近くを除いてほぼ同じ挙動を示していることが分かる。また、 $P=100\text{kN}$ までは完全合成されている。一方、ウレタン付きスタッドの方は、小さな荷重でずれが発生している。300mmと450mmピッチのものは、ほぼ同じ挙動を呈している。225mmピッチのものはスタッドピッチの影響を受けて、相対ずれは減少している。

4. 結論

非合成桁橋に適用する新スタッドに関する一連の試験から、次のようなことが明らかになった。

1) 押抜き試験(シリーズ I)において、スタッドの静的耐荷力はスタッド根元のウレタンの有無に関係がなく同一であった。通常のスラット($\phi 19\text{mm}$:2本)とスラブアンカー($\phi 16\text{mm}$:1個)の静的耐荷力は、ほぼ等価であった。ウレタン付きスタッドは、ずれ剛性を小さく抑えることができ、スラブアンカー以上の非合成挙動を示すことが確認できた。よって、通常のスラットと同等の耐荷力を有し、靱性が高いウレタン付きスタッドの使用は、スラブアンカーを使用する場合よりも非合成桁橋に対して有利であると考えられる。

2) はりの曲げ試験(シリーズ II)において、曲げ耐荷力はスタッド根元のウレタンの有無に関係がなく同じであった。設計荷重に相当する荷重 $P=100\text{kN}$ では、通常のスラットとスラブアンカーの試験体では断面のひずみ分布は、ともに平面保持を呈し、合成効果が大きであると判断できる。一方、ウレタン付きスタッドの場合、明確な重ねばり的なひずみ分布となり、非合成挙動を呈する。よって、同じ本数のスタッドでも、スタッド根元にウレタンを巻くことによってスラブアンカー以上の非合成効果をもたらすと言える。

参考文献

- [1] 川田工業：川田技報、Vol.16, Jan., 1997.
- [2] 阿部英彦ほか：合成桁におけるスラブ分割の影響と柔ずれ止めの開発、構造工学論文集、Vol.35A, pp.1205-1214, 1989.3.
- [3] 佐伯章美：連続合成げた橋-おもにプレストレスト形式、新しい合成構造、日本鋼構造協会、pp.65-70, 1977.
- [4] 中島章典ほか：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講演論文集、pp.197-201, 1995.11.