

(21) スタッドシヤーコネクタによる鋼・コンクリート部材接合部の強度
変形状に関する基礎的研究

埼玉大学 田島二郎
埼玉大学 ○町田篤彦
大成建設 大友 健

1. 序論

異種部材を接合して一つの構造物とする形式の合成構造においては、部材間の接合が適切であるか否かが構造物の成否を左右する重要なポイントである。合成構造における部材間の接合法としては、スタッドシヤーコネクタを応用する工法が有力な工法の一つであろうと考えられる。スタッドシヤーコネクタは、周知のように、合成桁には広く用いられているし、その場合の耐荷特性に関しては数多くの研究成果が公表され、示方書類では、これらに基づいて許容耐力や構造細目が規定されている。しかしながら、スタッドを合成桁以外の合成構造において、異種部材間の接合に用いようとする場合、十分な成果が得られているとはいえず、なお検討を要する事項が少なくとも二つ残されている。その一つは、スタッドを用いた接合部の変形状である。接合部においては、耐荷力のみならず、変形状も接合される部材のそれらとほぼ同じにすることが望まれることは言うまでもなく、接合部の変形状について解析する手法が必要となるのである。他の一つは、スタッドを用いた接合部の変形・耐荷性状は、スタッドの方向とコンクリート打ち込みの方向との関係によって、相違するという点である。通常の合成桁では、スタッドは頭部を上にして桁の上フランジに溶植され、コンクリートは上方より打ち込まれる。これに対して、異種部材間の接合部では、このような使用法他に、スタッドがその頭部を下にして溶植され、コンクリートが上方から打ち込まれるという使用法およびスタッドが水平方向に溶植され、コンクリートが上方から打ち込まれるという使用法があるのである。このような場合に関する研究は、ほとんどなされていないのである。

本研究は、スタッドを用いた異種部材接合部の強度・変形状を解析する場合の基礎資料を提供することを目的とし行ったものである。すなわち、合成桁の場合とはコンクリートの打ち込み方向が相違する場合のスタッドの強度・変形状を解明するために、まず、スタッド1本を鋼板に溶植し種々の方向よりコンクリートを打ち込んだ接合部供試体についてせん断試験を行い、この接合部の荷重・ずれ特性を詳細に検討した。ついで、これに基づいてスタッドおよびこれを囲むコンクリートを適切な力学的モデルに変換する方法につき検討を加え、実験によって得られた荷重ずれ曲線を解析的に得られるようなモデルを提案した。さらに、スタッドを用いた2、3の異種部材接合部供試体について強度変形状を実験し、提案したモデルによる解析を比較検討することによって、提案したモデルの妥当性を検討したのである。

2. 実験方法および結果の概要

2.1 実験方法

図1に示すように、矩形の鋼板の中央にスタッドジベルを溶植してコンクリートを打込んだ供試体を用いて、単純せん断試験を行い、せん断力ずれ曲線を求めるとともに、スタッドに貼付したひずみゲージにより、スタッド自体のひずみ状態（応力状態）を測定した。

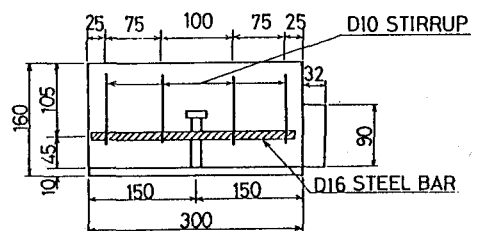


図1 実験に用いた供試体

供試体を作成するにあたっては、実験要因として、スタッドの直径および高さ、コンクリート強度および打込み方向、コンクリートの応力状態および補強鉄筋量を取り上げ、これらを表1に示すように変化させた。載荷にあたっては、図2に示すように、鋼板を載荷装置上に固定するとともに、コンクリート上面にコロを介して鋼板を置き、この鋼板を載荷装置に固定することによって、載荷時にコンクリートが浮き上がるのを防止した（図2参照）。載荷中には、先に述べたスタッドのひずみの外、荷重および鋼板とコンクリートとの相対的ずれを測定した。スタッドのひずみは、スタッドの載荷方向の前後の側面に溝を切削し、ここにひずみゲージを貼付して測定した。なお、この溝には、エポキシ樹脂を充填した。表2に用いたスタッドの機械的性質の試験結果を示す。

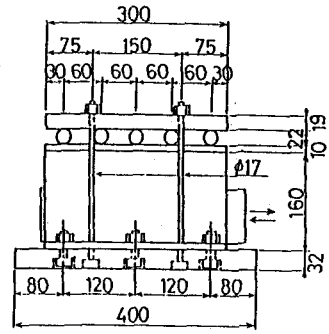


図2 供試体の固定方法および載荷方法

2.2 実験結果

図3は、実験によって得られたせん断力ずれ履歴曲線の包絡線（以下、単に、せん断力ずれ曲線あるいは包絡線という）を1.1に述べた影響要因毎に示すものである。これによれば、採用した要因は何れもせん断力ずれ曲線に相当の影響を及ぼすが、スタッドの径および高さ（以下、スタッドディメンジョンという）ならびにコンクリートの打込み方向が著しい影響を及ぼすことが分かる。これら2者のうちスタッドディメンジョンの影響は従来の研究によって相当に

表1 供試体の諸元ならびに最大耐力

	記号	スタッド ディメンジョン	試験条件	f_c	E_c (kg/cm^2)	Q_u (t)	$\frac{Q_u}{E_c^{0.53}}$	$\frac{Q_u}{E_c^{0.67}}$	$\frac{Q_u}{Q_{u,spec}}$	Q_a	δ_{11} (mm)
P series	P38-1	13 8	標準状態	364	302 $\times 10^3$	8.4	4.56	1.07	0.93	7.3	
	P38-2	13 8		367	303	8.0	4.33	1.02	0.93	7.8	
	PS-TC	13 8		380	309	8.3	4.41	1.03	0.95	7.4	
	PS-TNC	13 8		370	304	9.3	5.03	1.18	0.94	7.0	
	PSC-C	13 8	標準状態 片振り	383	310	7.8	4.11	0.96	0.95	5.3	
	PSC-TC	13 8		392	313	9.3	4.86	1.21	0.96	9.5	
	PSC-TNC	13 8		386	310	9.8	5.16	1.14	0.97	6.0	
	PDC	13 8	標準状態両振り	396	315	7.6	3.94	0.92	0.97	3.0	
ST series	ST-NB	13 8	スタッド下向き	393	314	10.0	5.21	1.22	0.97	11.0	
	STWK1	13 8		403	318	6.8	3.49	0.82	0.98	9.8	
	STWK2	13 8		413	322	6.9	3.50	0.82	0.99	15.0	
	STBL1 STBL2	13 8 13 8	スタッド水平	423 413	326 322	8.7 10.0	4.34 5.06	1.02 1.19	1.00 0.99	7.4 10.0	
D series	D13-6	13 6	標準状態	433	329	10.5	5.17	1.21	0.89	17.0	
	D13-10	13 10		443	333	10.3	5.02	1.18	1.03	14.0	
	D10-8	13 8		443	333	7.5	3.65	1.39	0.63	9.5	
	D16-8	13 8		443	333	15.6	7.61	1.18	1.48	21.0	
CO series	CO-NR	13 8	補強筋なし	423	326	8.3	4.14	0.97	1.00	5.0	
	CO-LS	13 8	標準状態	317	282	8.0	4.69	1.18	0.87	11.2	
	CO-HS	13 8		495	352	10.2	4.67	1.10	1.08	10.2	
R series	R4-10	13 8	標準状態	414	322	9.0	4.50	1.06	0.99	11.0	
	R4-15	13 8	補強筋15cm間隔	414	322	9.5	4.75	1.14	0.99	8.0	
	R4-20	13 8	補強筋20cm間隔	414	322	9.5	4.75	1.14	0.99	7.5	

解明が進んでいるが、1.にも述べたように、コンクリートの打込み方向の影響はほとんど解明されていない。このことに加えて、図3の結果は、打込み方向の影響はスタッドのせん断力ずれ関係に支配的であることを示しているのであって、研究目的を達成するためには、これの影響をでき得る限り詳細に解明し、数式化することが必須であると言える。

図4は、スタッドの軸方向のひずみ分布の

表2 用いたスタッドの機械的性質

	Yield stress (kg/cm^2)	Yield Strain ($\times 10^6$)	Tensile Strength (kg/cm^2)		Ultimate Strength (kg/cm^2)
D13	4250	2300	5218 5318 5419	5318	3848
D16	2730	1450	4936 5116 5141	5064	3599
D19	2500	1450	4880 4964 4955	4933	3649

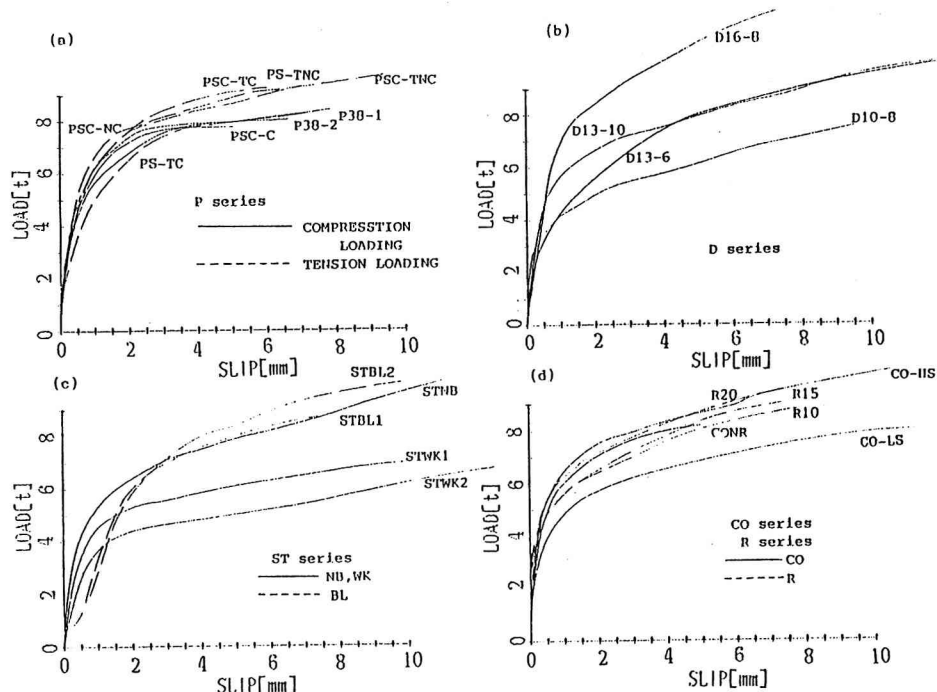


図3 せん断力ずれ曲線の包絡線

例である。この図に見られるように、実験したすべての供試体において、スタッドはその根元部（鋼板との溶接部）に最大のひずみ、従って最大の応力を生ずるのである。これは従来のスタッドの疲労試験の結果より容易に予測できる事項であるが、この応力は、頭部に向かうに従って減少を続け、根元部より直径の3倍程度離れた位置で反対符号の最大応力を生じていることは興味深い。写真1は、耐荷力を失った供試体をダイヤモンドカッターで切断した断面を示すものである。この写真より、スタッドは、その頭部が固定され、根元部が固定されたまま水平方向に移動するように変形することが分かる。この変形状態を知れば、上記のひずみ状態は容易に予測できる。

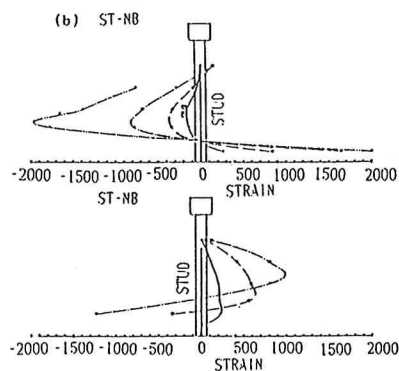


図4 スタッド軸方向のひずみ分布測定例

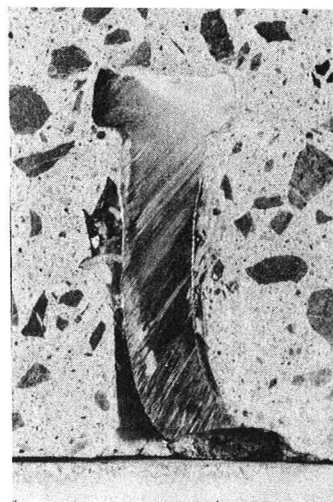


写真1 スタッドの変形状態

各供試体が示した最大耐力は、表1に示してある。これより明らかなように、スタッドディメンジョンおよびコンクリート強度などが等しい場合、最大耐力は、コンクリートの打込み方向によって大きく影響されることが分かる。写真1には、スタッドの根元部が切断されていることが示されているが、実験したすべての供試体は、この写真のように、スタッドに切断を生じて耐荷力を失った。従来より、スタッドを用いたせん断力伝達部は、スタッドの周囲のコンクリートが圧壊して最大耐力に至るのが通常とされている。このこ

とより、本実験は通常よりコンクリートが相対的に強度が高い範囲で行われていると考えられようが、写真1においてもコンクリートの圧壊が生じていることに着目すれば、スタッドの切断は最大耐力以後の大変形時に生じたものと判断される。

3. コンクリート中におけるスタッドシヤーコネクターのモデル化

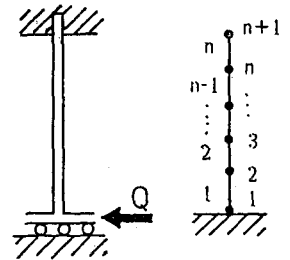


図5 スタッドのモデル化

コンクリート中のスタッドの挙動を解析するにあたり、まず、スタッドが鋼桁の上フランジにその頭部を上にして溶植され、コンクリートが上方より打込まれる場合（通常の合成桁の場合と同様な使用状態にある場合で、以下、この状態を標準状態と言う）を取り上げ、これを次のようにしてモデル化した。スタッドは、コンクリート中においてせん断力を受ける場合、写真1に示したように変形する。そこで、図5に示すように、これを根元部を回転が拘束されたローラー支持、頭部を水平方向変位および回転に対して固定、軸方向に対して自由の梁とし、軸方向にn個の接点を設けるモデルとした。このモデルに対し、塑性大変形理論を用いるとともに、せん断変形をも考慮して解析を行ったのである。スタッドの材料特性としては、通常の硬化型パイリニヤを採用した。コンクリート反力は、これを各接点に作用する集中荷重として取り扱い、そのバネ特性を図6のように仮定した。図6は、コンクリートの応力ひずみ曲線を反力変位関係に置換することによって求めたもので、下式によって表される。

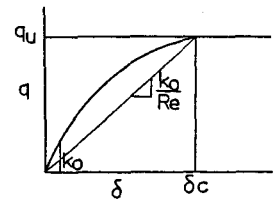


図6 コンクリート反力の特性

$$q = \frac{k_0 \delta}{1 + (R_E - 2)(\delta / \delta_c) + (\delta / \delta_c)^2} \quad (0 < \delta < \delta_c)$$

$$q = q_c \quad (\delta \geq \delta_c)$$

$$\delta_c = R_E q_c / k_0$$

$$k_0 = \frac{1.17 E_c}{B (1 - \nu_c^2)} \sqrt{\frac{E_c B^4}{E_{st} I_{st}}}$$

$$q_c = 22.67 \alpha (f_c')^{1/2} (D/W)^{1/3}$$

ここに、 q :コンクリート反力、 q_c :コンクリート反力の最大値、 δ :ずれ、 δ_c :ずれの最大値、 k_0 : $\delta=0$ の時の反力係数、 R_E : δ_c と q_c との関係を示す係数で8~12、 E_c :コンクリートのヤング率、 B :スタッド径、 ν_c :コンクリートのポアソン比、 $E_{st} I_{st}$:スタッドの曲げ剛性、 α :コンクリートが三軸応力状態にあることを補正する係数で5、 f_c' :コンクリートの圧縮強度、 D :支圧の中心からコンクリート縁までの距離、 W :载荷プレートの幅、である。 k_0 はウィンクラーモデルをもととして定めたものである。ウィンクラーモデルとは、半無限弾性体中の無限に長い梁が集中荷重を受けるときの加力点の変位と反力の関係を示すモデルである。上式は、岸田らの研究[1]を参考として、円筒空洞上に等分布荷重が作用する場合に対応させて係数を修正したものである。また、 q_c は、N.M.Hawkinsが提案した支圧力を受けるコンクリートの破壊強度算定式[2]をもとに、これを三軸応力状態に対するように係数を変更して求めたものである。

スタッドが標準状態でない接合部の場合、コンクリートのブリージングによってスタッドの周囲には、何らかの欠陥が生ずる。すなわち、スタッドがその頭部を下にして溶植されコンクリートが上方より打込まれる場合、根元部に打設欠陥が生じ、スタッドが水平方向にあってコンクリートが上方から打込まれる場合、スタッドの下側の側面には、やはり打設欠陥が生ずる。このような欠陥がある場合に対しては、バネ特性

を實際に合わせて変化させることによって取り扱うこととした。

4. スタッドが標準状態にある接合部の変形・強度特性

図7は、スタッドが標準状態にあるようにして作成した供試体についての試験より得られたせん断力ずれ曲線と3に述べた方法で解析的に求めたそれを比較した例を示したものである。

この図に見られるように、コンクリート強度およびスタッドディメンジョンがせん断力ずれ曲線に大きく影響を及ぼすが、せん断力あるいはずれが極めて大きな範囲を除き、いずれにたいしても実験値と解析値はよく一致していることが認められた。従って、3.

に述べた解析法はスタッドが標準状態にある接合部のせん

断力ずれ特性をよく追跡できているといえる。せん断力あるいはずれが極めて大きな範囲では、解析値は実験値に対し、全般的に小さくなっている。この理由は明確でないが、実際には大変形時にはスタッドには軸方向力が作用し、これによってある程度の耐荷力の上昇があるが、解析では、軸方向には大きな軸力が作用しない支持条件を採用しているためと想像される。これに関しては、現在、検討を続行している。

接合部全体の挙動に関しては、以上のように、ずれが極めて大きな範囲を除き、3. の解析法が適当であることが確かめられたが、スタッドそのものの挙動を追跡しているか否かが不明であるため、実験で測定されたひずみと解析によって求められたそれを比較した。その結果の1例は、図8に示すようである。この図に示されるように、比較を行いたいずれの場合でも、ひずみの実験値は解析値と概ね一致し、解析モデルはコンクリート中のスタッドの挙動をよく表現できていることが確かめられた。大変形時に至ると、ひずみゲージの切断その他が生ずるため、スタッドのひずみ状態に関しては、実験によって信頼できる結果を求めることができなくなる。このため、コンクリート中のスタッドの挙動に関しては、これが標準状態であっても、十分な説明がなされていなかった。しかし、図8に示したように、本研究の解析法を用いれば、これがある程度可能であることが判明したので、これによって大変形時のスタッドのひずみ挙動の説明を試みた。この結果も図8に併記してある。図8によれば、せん断力が増大するにともない、スタッドは、根元部の外縁、根元部の全断面、中央部の外縁、中央部の全断面の順に降伏して、最終的には根元部で破断して破壊に至ることが分かる。ひずみ測定の結果より、根元部の外、ここより3d程度上部の断面でも大きな応力が発生することは既に述べたが、解析によれば、この断面は降伏にまで至ることが示されたのである。この様なひずみ状態とせん断力ずれ曲線とを対比させた結果、図7に示すように、根元部外縁の降伏が弾性限、根元部全断面および中央部外縁降伏がずれ急増時、中央部全断面降伏がずれ急増後の一定上昇時に、それぞれ対応していることが示された。従来、スタッドの許容応力は、せん断力ずれ曲線を基に、経験的に、相当の安全率を見込んで定められてきたが、図7および8の結果より、接合部のせん断力ずれ特性とスタッドのひずみ状態

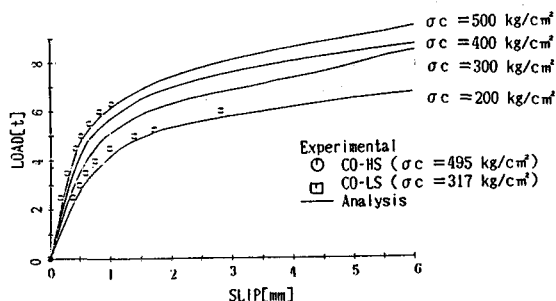


図7 スタッドが標準状態にある接合部のせん断力ずれ曲線

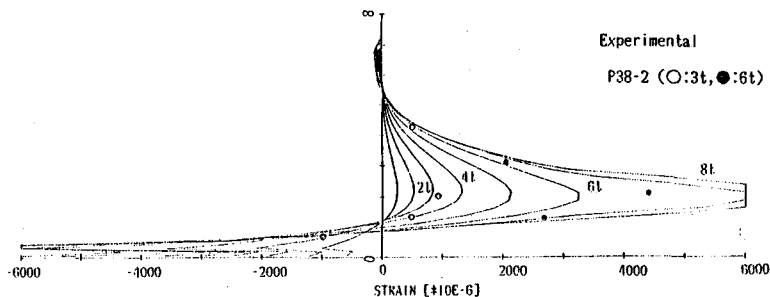


図8 スタッドのひずみ状態（実験値と解析値の比較の一例）

図9は各供試体の最大荷重を従来の評価式とともに示したものである。既に述べたように、全ての供試体は、スタッドが根元部で破断して耐荷力を失った。図9によれば、このような破壊モードにも係わらず、最大荷重は、コンクリートが破壊するモードに対するコンクリート強度およびスタッドディメンジョンまたはコンクリート強度、ヤング率およびスタッド断面積をパラメータとする評価式で評価できたことが示されている。これは、これらのパラメータが破壊荷重ではなく大耐力強度に強い影響を及ぼしていることを示すものであろう。

コンクリートの打設方向とスタッドの軸の方向との相互関係が標準状態とは異なる場合について、せん断力ずれ曲線を中心にして、その挙動の解明を図った。図10は、スタッドが下向きでコンクリートを上方から打込んだ場合のせん断力ずれ曲線の一例である。この場合は、容易に想像できるように、フリージングによってスタッドの根元部に打設欠陥ができる。図7と図10を比較すれば容易に分かるように、このような打設欠陥があると、その程度に応じ、初期剛性、最大荷重ともに顕著に減少する。例えば、フリージングによってコンクリート上面と鋼板との間に1.7mmの隙間が生じた場合、初期剛性および最大荷重は、ともに大約30%程度も減少したのである。この減少量は隙間の大きさから予想できるより極めて大きく、接合部の特性を云々する場合には、無視できない減少であるといえる。このような大きな減少が生ずる原因を明らかにするとともにこの場合の解析方法の確立に資するため、試験後の供試体をスタッドに沿って切断し、スタッドおよびその周辺のコンクリートを観察した。この結果、根元部のコンクリートが欠陥の厚さの大約2.5倍の範囲で著しく損傷していることが明かとなり、このような大きな損傷が初期剛性および耐力の上記のような著しい減少をもたらすことが明かとなった。そこで、このような損傷状況を参考として、コンクリート反力分布を図11のように仮定し、 $h_0=2.5h_s$ としてこの場合のせん断力ずれ特性を解析した。この結果は、図10のようであって、解析値は実験値とよく一致することが認められた。このことは、下向きのスタッドを有する接合部のせん断力ずれ特性を解析する場合、コンクリート反力を上記のように取り扱うことが妥当であることを示すものである。

Figure 1 is a scatter plot showing the relationship between the modulus of elasticity (E_c) in fcs and the modulus of rupture (Q_u) in fcs. The x-axis represents E_c (fcs) from 1700 to 2200. The y-axis represents Q_u (fcs) from 6 to 10. Data points are categorized by loading type: Mean Value (asterisk), PSC-C (solid circle), PSC-TNC (open square), ST (solid circle), STWK1 (open square), STWK2 (solid circle), STBR1 (open circle), STBR2 (solid circle), STBR3 (open circle), STBR4 (open circle), STBR5 (open circle), STBR6 (open circle), STBR7 (open circle), STBR8 (open circle), STBR9 (open circle), STBR10 (open circle), STBR11 (open circle), STBR12 (open circle), STBR13 (open circle), STBR14 (open circle), STBR15 (open circle), STBR16 (open circle), STBR17 (open circle), STBR18 (open circle), STBR19 (open circle), STBR20 (open circle), STBR21 (open circle), STBR22 (open circle), STBR23 (open circle), STBR24 (open circle), STBR25 (open circle), STBR26 (open circle), STBR27 (open circle), STBR28 (open circle), STBR29 (open circle), STBR30 (open circle), STBR31 (open circle), STBR32 (open circle), STBR33 (open circle), STBR34 (open circle), STBR35 (open circle), STBR36 (open circle), STBR37 (open circle), STBR38 (open circle), STBR39 (open circle), STBR40 (open circle), STBR41 (open circle), STBR42 (open circle), STBR43 (open circle), STBR44 (open circle), STBR45 (open circle), STBR46 (open circle), STBR47 (open circle), STBR48 (open circle), STBR49 (open circle), STBR50 (open circle). Two regression lines are shown: a solid line for PSC-C and a dashed line for PSC-TNC. The equations for the lines are $Q_u = 3.34 A_s (f_c) (E_c)$ and $Q_u = 40 dn f_c$.

The graph plots Load [t] on the y-axis (0 to 8) against Slip [mm] on the x-axis (0 to 6). It shows experimental data points and analysis curves for two specimens: STWK1 (1.7mm) and STWK2 (3.4mm). STWK1 is represented by open circles and a solid line, while STWK2 is represented by open squares and a solid line. A dashed line represents the analysis for a specimen with $\beta = 1.25mm$. The curves show that load increases with slip, with STWK2 generally carrying higher loads than STWK1 for the same slip value.

Slip [mm]	STWK1 Load [t] (Exp)	STWK1 Load [t] (Analysis)	STWK2 Load [t] (Exp)	STWK2 Load [t] (Analysis)	$\beta = 1.25mm$ Load [t] (Analysis)
0	0	0	0	0	0
1	2.5	2.5	3.5	3.5	5.5
2	3.5	3.5	4.5	4.5	6.5
3	4.5	4.5	5.0	5.0	7.0
4	5.0	5.0	5.5	5.5	7.5
5	5.5	5.5	6.0	6.0	7.8
6	5.5	5.5	6.0	6.0	8.0

図 1 1 根元部の損傷と
ばね定数の仮定

うに、せん断力が極めて小さい範囲で特徴的なずれが生ずる。このようなずれが生じた後のせん断力ずれ曲線は欠陥がない場合と同じであり、初期剛性、最大耐力ともに変わりがなかった。しかし、せん断力が載荷された直後に生ずるずれは、実験のレベルにおいても1mmにも達するものであるから、実際にはこの量を予測することが極めて重要となる。この目的のため、コンクリート反力を図13のように仮定して、せん断力ずれ曲線を計算し、実験と比較した。この結果は、図12に示したようで、このような方法で概ね満足できる結果が得られることが示された。図12では、解析値はせん断力が0の点よりずれを生ずるが、実験値はある大きさのせん断力が作用するまで全くずれが生じないことが示されている。これは、実験では、コンクリートと鋼板との間に付着力があり、これが破壊されるまではずれを生じないのに対し、解析では付着力を無視しているからである。解析で付着を考慮にいれるのは容易であるから、スタッドが水平に溶植されている場合の接合部のせん断力ずれ特性は、コンクリートのバネ定数を図13のように仮定すれば、解析が可能であるといえる。問題は図13において γ をどのように仮定するかであるが、これに関しては、スタッドが下方を向いている場合の欠陥ほどの根拠ある方法を見いだせなかった。この点に関しては、実験的検討を積み重ねることによって解決せざるを得ないと考えている。

6. 解析モデルの適用例

3. で提案した解析モデルの妥当性を検討するため、吊橋あるいは斜張橋のタワーを多数のスタッドで基礎に固定する形式の構造について実験を行うとともに、その挙動を提案した解析モデルを適用して解析した。

図14は、実験に用いた供試体である。同図に示すように、供試体中心軸に沿ってPC鋼棒を通し、これにプレストレスを導入することによって軸力を載荷した。解析にあたっては、供試体を図15に示すように要素分割し、スタッドがある位置に接点を設けてここにスタッド要素を設けた。また、スタッドが存在しない部分では鋼柱とコンクリートとの間の付着力を考慮するため、ボンド要素を設けた。図16は、実験結果と解析結果を比較した一例である。図16において、直接的な比較は鋼柱面の応力状態だけであるが、同図より明らかなように、実験値と解析値は

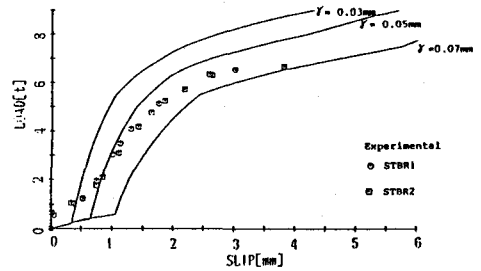


図12 水平方向のスタッドを有する接合部のせん断力ずれ曲線の一例

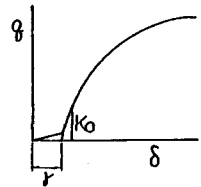


図13 水平方向のスタッドの下面に欠陥が生ずる場合のバネ定数

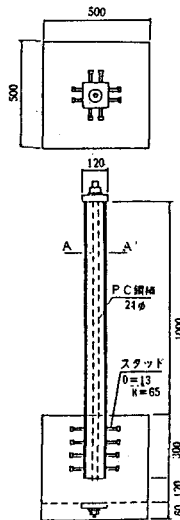


図14

タワーの供試体

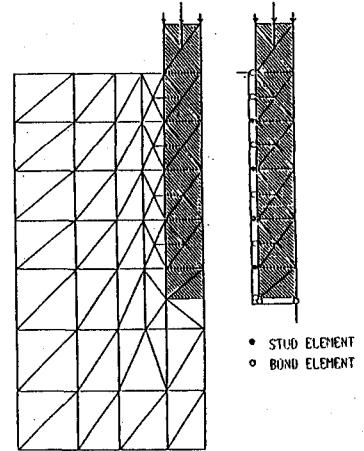


図15 供試体の要素分割

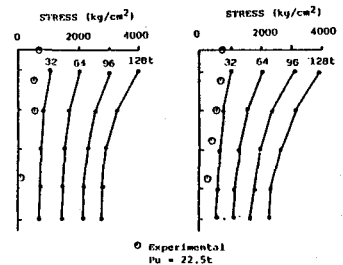


図16 実験結果と解析結果との比較の一例

概ね一致している。より高い荷重レベルでの比較は、実験において、より高い荷重を載荷し得なかったため、不可能であるが、各位置でのスタッドの荷重分担状況および鋼柱面の応力分布状況、荷重の増加にともなうこれらの変化などより判断して、概ね妥当な結果が得られていると考えられる。しかし、ここに述べた比較は、全てのスタッドにおいて、これらが水平方向に溶植され、コンクリートが上方より打ち込まれる状態で使用され、かつ、せん断力も同一の位置方向より載荷されるという簡単な場合についてだけである。従って、この結果だけをもって、上に述べたスタッドの解析モデルが完全であるとするのは早計である。しかし、少なくとも、このような解析法が有望かつ実用的であることだけは示されたものと考えられる。

7. 結論

スタッドシャーコネクターを用いて各種の合成構造において異種部材を相互に接合する場合の接合部の性状を解析するのに資することを目的として、実験および解析を行った。実験に用いた供試体はスタッドを一本だけ有し、一様な応力場にある場合を模擬したものであるから、本研究の結果が多数のスタッドを有し、複雑な応力場にある全ての場合に適用できるとは限らないが、実験の範囲内で以下のことが結論されることが考えられる。

- (1) スタッドを n 個の接点に分け、各接点にウィンクラーモデルとN.Hawkinsの支圧強度式とに基づいて定めたコンクリート反力を作用させるとともに、根元部および頭部の境界条件を実際に合致するようにして、スタッドの解析モデルを作成した。実験と解析を対比した結果、この解析モデルは、標準状態にあるスタッドの挙動をよく追跡し得ることが認められた。
- (2) スタッドを用いた接合部供試体についてのせん断試験により得られたせん断力ずれ曲線およびスタッドのひずみ分布ならびに(1)のによる解析を総合した結果、スタッドが標準状態にある場合、せん断力ずれ曲線上の弾性限、その後続く急増部分、急増後の一定上昇部分は、スタッドのひずみが、それぞれ、根元部最外縁の降伏、根元部全断面降伏および中央部最外縁の降伏、中央部全断面降伏、に達する荷重に対応することが認められた。このことより、根元部全断面降伏時が標準状態にあるスタッドを用いた接合部の限界荷重であり、許容荷重はこれに適当な安全率を見込んで定めるのがよいと判断される。
- (3) スタッドがその頭部を下にして溶植され、コンクリートが上方より打ち込まれる接合部では、根元部にブリージングによる欠陥が生じ、このため、せん断力ずれ曲線において初期合成、最大耐力ともに大きく減少する。この場合のせん断力ずれ曲線は、根元部における欠陥部の2.5倍の範囲でコンクリート反力を直線的に減少させて(1)モデルを用いれば、解析的に求めることが出来る。
- (4) スタッドが水平に溶植され、コンクリートが上方より打ち込まれる接合部では、スタッドの下側の側面にブリージングによる欠陥が生ずる。この場合、接合部にスタッドが上方より圧縮されるような力が作用すると、せん断力が極めて小さいレベルで典型的なずれが生ずる。しかし、せん断力が増加した以後の挙動はスタッドが標準状態にある場合と変わりがなく、最大耐力もほぼ等しい。この場合のせん断力ずれ曲線は、(1)の解析モデルにおいて、コンクリート反力をずれが生ずるように若干補正すれば、解析的に求めることが出来る。しかし、(3)の場合のような定量的なコンクリート反力の補正方法に関しては、なお検討が必要である。

本研究は、昭和58年度および昭和59年度における科学研究費補助金(課題番号58025006および59850077)による研究をまとめたものである。

参考文献

- [1] 岸田英明、中井正一；地盤反力-変位関係の非線形性、土と基礎、1977年8月
- [2] N.M.Hawkins; The bearing Strength of Concrete for Strip Loadings, Magazine of Concrete research, June 1970