

論文

[2179] 締結式ボックスジベルのせん断耐力に関する研究

* 1 * 2 * 3
久野 公徳 中村 修 松下 博通

1. まえがき

近年、交通量の増大、車両の大型化による荷重増にともない既設の鋼道路橋においてコンクリート床版の劣化事例の増加が見受けられる。これら鋼道路橋の床版コンクリートの損傷、劣化に対する。補修補強工法としてプレキャストコンクリート床版を用いた全面打ち替え工法がある。この工法では、プレキャスト床版と鋼桁との結合方法として、著者等は、ねじ式によって不陸調整ができ、鋼桁とプレキャスト床版を溶接にて結合するボックスジベルを開発し、その性能や合成效果について検討して来たが一定の成果を得ることができた。

しかし、鋼桁とプレキャストコンクリート床版とを溶接結合する不陸調整可能なボックスジベルの施工には、高度な現場溶接技術が必要であり、しかも溶接の品質管理手法にめんどろを要する。

従って、本研究はこれらの問題を解消するためねじ締結式に改良した締結式ボックスジベルを考え、押し抜きせん断タイプ供試体により、静的ならびに動的試験を実施し、せん断耐力を明らかにしようとするものである。

2. 試験供試体

締結式ボックスジベルは、図-1に示すように、プレキャスト床版に埋め込まれた外筒部に、現場でねじ式により内筒部を取り付け、不陸調整後に予めH鋼部に溶接されている高ナットにボルトをねじ込み床版と鋼桁をねじ締結したのちコンクリート床版と鋼桁の間に無収縮モルタルを注入充填し、一体化するジベル構造である。

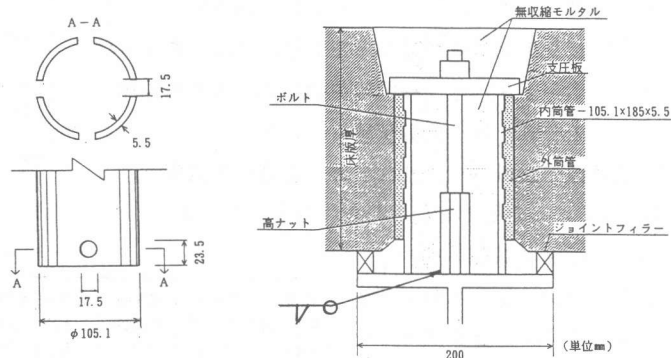


図-1 締結式ボックスジベルの形状および結合方法

道路橋示方書によれば、ジベルの一本当たりのせん断耐力は、ジベルの種類や形状により、ジベル自身のせん断強度あるいはコンクリートの割裂強度や支圧強度から定まる。ボックスジベルの構造からジベルのせん断耐力はコンクリートの支圧強度より定まる形状であるが、ボックスジベル自身を鋼桁に直接溶接結合することにより、試験結果では、ジベル一本当た

* 1 ㈱ピー・エス九州支店 技術部開発課 工修(正会員)

* 2 ㈱ピー・エス九州支店 技術部開発課

* 3 九州共立大学教授 工学部土木工学科 工博(正会員)

りのせん断耐力は、ボックスジベル自身の溶接部におけるせん断耐力から定まっているのが実情である。

従って、本試験研究では、溶接部の強度の影響を受けにくいねじ締結式にジベルを改良することで使用状態で、限界せん断ずれ量が小さくなることが想定されることから、図-2に示す改良型ボックスジベル構造の供試体を作製して押し抜きせん断試験を実施した。

供試体に作用させるせん断力は、すべてねじ締結式ボックスジベルのみで負担させるために、図-2の供試体構造とし、表-1に示すねじボルトの材質と締結ボルトの締結応力度を要因にとり、その水準を変え、静的載荷試験および疲労試験を行い、締結式ジベルのせん断力、破壊形式について検討を行った。

その結果、供試体の静的載荷での破壊形式は、締結式ボックスジベルのずれせん断破壊であった。

作製した供試体は、24体であり、このうち18体（S-1～18）は、静的載荷試験に、残りの6体（D-1～6）は、疲労試験に供した。

供試体作製用コンクリートは、設計基準強度500kgf/cm²のものを使用した。なお、表-2-

(1)に配合表を示す。

また、コンクリートおよび注入モルタルの性質を表-2-(2)に示す。

3. 試験方法

静的載荷試験及び疲労試験は、図-2に示すように、H形鋼断面中心に偏心荷重が作用しないように加えた軸方向荷重により、締結式ボックスジベルにせん断力を与える方法とした。

ここで、中心軸方向荷重P (tf)の作用により、ボックスジベルの高ナット一本に加わる平均せん断応力度 τ_s は、ボルトナットの使用寸法と材質により次式で求められる。

$$S\ S41 \quad \tau_s \text{ (kgf/cm}^2\text{)} = S/As = P/2As = 47.1 \times P \text{ (tf)}$$

$$\text{但し } As = 10.61 \text{ cm}^2$$

$$S\ S35C \quad \tau_s \text{ (kgf/cm}^2\text{)} = S/As = P/2As = 56.4 \times P \text{ (tf)}$$

$$\text{但し } As = 8.87 \text{ cm}^2$$

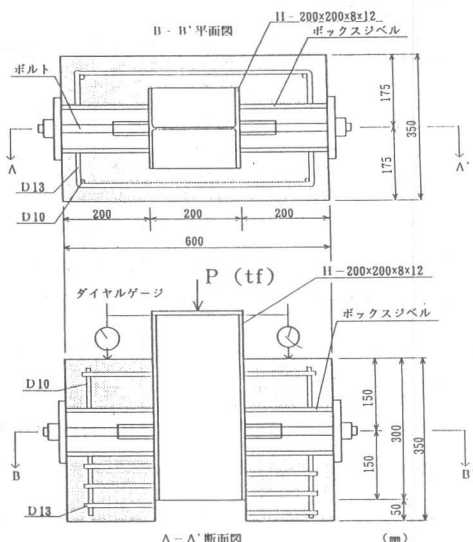


図-2 供試体の形状寸法と載荷方法

表-1

要因	水準
材質	SS41, S35C
ボルトの締結応力度 (kgf/cm ²)	0, 800, 1600

表-2-(1)

粗骨材 最大寸法 (mm)	目標ス ランプ (cm)	空気量 の範囲 (%)	水セメ ント比 (%)	細骨材 s/a (%)	単 位 量 (kg/m ³)				
					水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	混和材
20	7.0±1.5	2.0±1.0	40	42	180	450	707	1043	1.125

表-2-(2)

	圧縮強度 (kgf/cm ²)	弾性係数 (kgf/cm ²)
コンクリート	541	3.43×10 ⁵
充填モルタル	512	—

以上より、静的載荷試験における荷重履歴を、 $0 \rightarrow 20 \text{ t} \rightarrow 0 \rightarrow 40 \text{ t} \rightarrow 0 \rightarrow 50 \text{ t} \rightarrow 0 \rightarrow \text{最大荷重}$ とし、静的破壊荷重を求めた。

また、同時に図-2に示したように、1/100 (mm) 目盛のダイヤルゲージにより、荷重-貫入量曲線を求め、その結果より、ジベルのせん断ずれ量を算定した。

次に、疲労試験は、静的載荷試験の結果より繰返し荷重の最小荷重を静的破壊荷重の10%、最大荷重を静的破壊荷重に対し、締結ボルトの材質により以下のとおり設定した。

S S 41 : 静的破壊荷重 $\times 30\%, 40\%, 45\%$

S 35 C : 静的破壊荷重 $\times 50\%, 60\%$

なお、繰返し荷重は、繰返し速度を200回/分の正弦変化繰返し荷重を加え、ジベルが疲労破壊するまでの繰返し回数(疲労寿命)を求めるとともに、高感度型変位計により、荷重繰返しによるジベルのせん断ずれ量の変化を、繰返し荷重の最大荷重時及び最小荷重時に測定した。

ただし、ジベルの疲労破壊は、ジベルのずれ量が大きくなり、繰返し荷重を保持できなくなったときとした。

静的載荷試験及び疲労試験時の貫入量の測定値には、H形鋼の軸方向弾性変形量が含まれるため、ボックスジベルのずれ量は、貫入量の測定値からH形鋼の軸方向弾性変形量を差し引いて算定した。

4. 静的載荷試験結果と考察

静的載荷試験による供試体の破壊は高ナットの溶接部におけるせん断ずれ破壊であった。

静的載荷による締結式ボックスジベルの荷重-ずれ曲線の測定結果を示すと図-3, 4の通りである。

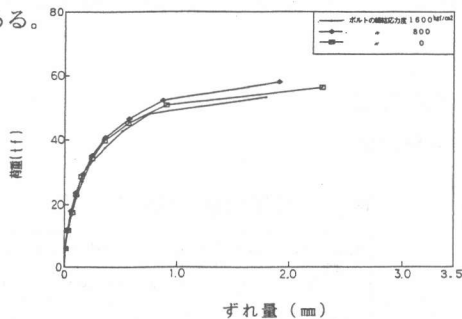


図-3 荷重-ずれ量曲線の測定結果(SS41)

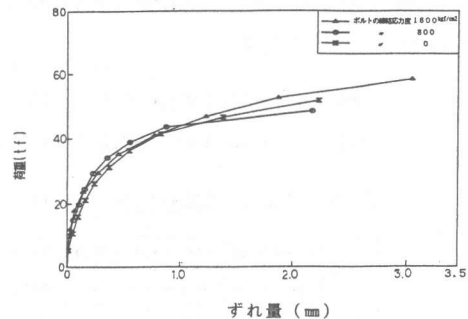


図-4 荷重-ずれ量曲線の測定結果(S35C)

また、締結式ボックスジベルのジベル効果を改良前のボックスジベルのせん断ずれ挙動との相違を把握するため、S-15供試体の荷重ずれ量曲線の測定結果の一例を図-5に示す。他の供試体についてもこれとほぼ同様の傾向を示した。

これらの測定結果より締結式ボックスジベルのずれは $P = 15 \text{ tf}$ (S S 41 : $\tau_s = 700 \text{ kgf/cm}^2$, S 35 C : $\tau_s = 850 \text{ kgf/cm}^2$) 付

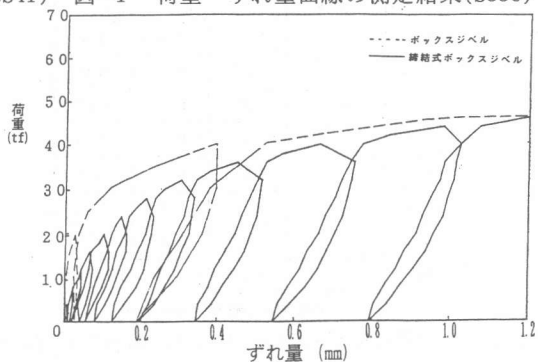


図-5 荷重ずれ量曲線の測定結果

近までは荷重－ずれ量曲線の勾配は直線勾配であり、ほぼ弾性的挙動を示し、その時のずれ量は0.05mm程度以下である。

なおP=15tf以上の荷重に対してはずれ量の増加速度は大きくなっている。
 さらにP=45tf以上になると、ずれ量の増加速度は著しく大きくなり、荷重－ずれ量曲線は横軸に平行に近い曲線となり、ずれ量が2～3mmの間で最大荷重を示し、ジベルはせん断ずれ破壊をした。また、荷重－ずれ量曲線により、荷重を20tf、40tf、50tfの大きさから除荷した時の、各荷重におけるずれ量と除荷時の残留ずれ量の関係を図－6に示す。

載荷時のずれ量が大きくなると残留ずれ量も大きくなっているが、載荷時のずれ量が0.2mm程度以下の場合、除荷時のずれ量は、極めて小さくなっている。

しかし、載荷時のずれ量が0.2mmを越えると、残留ずれ量が急激に増大し、載荷荷重のずれ量のうち、0.2mmを越えるずれ量については、すべて残留することを示している。

従って、実構造物において、床版と鋼桁の間に大きな残留ずれ量を示すことは、合成効果に変化することを示すものであることから本締結式ボックスジベルでは、載荷時のずれ量が0.2mmとなるときの荷重の大きさが、静的荷重を受ける場合の合成機能上の一つの限界荷重と考えられる。すなわち、ジベルのせん断応力度の許容値は以下のとおりとなる。

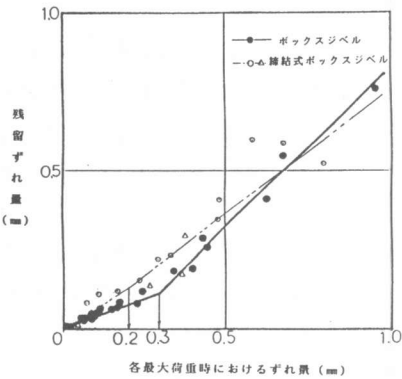


図-6 載荷ずれ量と残留ずれ量に關係

$$S\ S41 \quad \tau_s = 47.1 \times 2 \times S0.2 \text{ (tf)} = 1470 \text{ kgf/cm}^2$$

$$S\ S35C \quad \tau_s = 56.4 \times 2 \times S0.2 \text{ (tf)} = 1156 \text{ kgf/cm}^2$$

表-3 静的載荷試験結果一覧 (SS41)

供試体 番号	ボルト締結応力度 (kgf/cm ²)	ジベル一本当りのせん断力の大きさ (tf)		
		ずれ0.05mm	ずれ0.2mm	破壊荷重
S-1	1600	6.25	13.57	28.125
S-2		7.50	17.50	27.450
S-3		6.25	15.00	24.150
S-4	800	6.25	16.00	30.000
S-5		6.25	16.25	34.875
S-6		6.25	14.75	27.025
S-7	0	5.50	15.00	26.800
S-8		6.50	16.00	31.350
S-9		7.25	16.25	26.150
平均		6.444(607)	15.611(1470)	28.436(2679)

()内は、平均せん断応力度 (kgf/cm²)

表-4 静的載荷試験結果一覧 (S35C)

供試体 番号	ボルト締結応力度 (kgf/cm ²)	ジベル一本当りのせん断力の大きさ (tf)		
		ずれ0.05mm	ずれ0.2mm	破壊荷重
S-10	1600	6.75	13.75	26.925
S-11		5.00	13.75	41.900
S-12		7.50	13.00	19.400
S-13	800	7.50	12.00	24.650
S-14		5.00	7.75	24.225
S-15		4.00	10.00	24.750
S-16	0	5.00	10.00	26.125
S-17		5.00	11.50	27.225
S-18		3.75	10.50	24.675
平均		5.5(620)	10.25(1156)	26.853(3006)

()内は、平均せん断応力度 (kgf/cm²)

以上より、ずれ量が0.05mmと0.2mmになる荷重は、構造的に、本締結式ボックスジベルの合成率

動は変化する限界荷重と考えられる。これらの限界荷重の大きさを各供試体の荷重－ずれ量曲線の測定結果から求め、破壊せん断力とともに表－３及び表－４に示す。

これらの結果より各限界荷重及び破壊せん断耐力の大きさは、鋼材の降伏点から求まる耐力と比較してかなり小さめとなっている。

また、図－５に示した荷重－ずれ量曲線の測定結果から弾性的挙動範囲内において改良前のボックスジベルのずれ量曲線は急勾配であり、締結式ボックスジベルより剛性が高い。一方締結式ボックスジベルはずれ量が大きく、じん性に富んでおり、終局時の合成効果は改良前のボックスジベルより良いことが認められる。

５．疲労試験結果及び考察

疲労試験用Ｄ－１～６供試体に加えた繰返し荷重の大きさを表－５に示す。

疲労試験の結果、いずれの供試体とも繰返し回数２００

万回までは疲労破壊に至らなかった。

このことから、改良前のボックスジベルと比較し、この締結式ボックスジベルは、疲労に対して、ずれせん断耐力が大きく、ジベル構造としてよりすぐれている。

次に、繰返し回数－ずれ量のかんけいでは最大荷重比５０％，６０％においては、ずれ量は増大する傾向が見られたが、その他は、図－７に示した測定結果例となった。

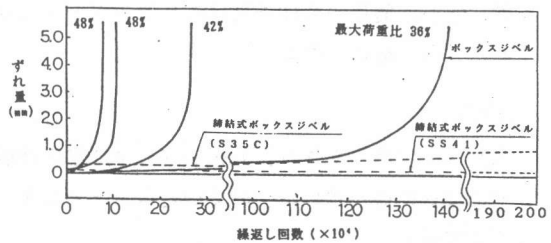
なお繰返し回数－ずれ量曲線は、繰返し回数１回目の平均荷重載荷時を零点としたものであり、最大荷重時と最小荷重時のずれ量の差は、ジベルの弾性的な挙動に依存するが、その大きさには繰返し荷重による変化は認められず、繰返し荷重によるずれ量の変化は、残留ずれ量の変化によるものである。

従って、最大荷重時と最小荷重時のずれ量を平均して、平均荷重載荷時のジベルのせん断ずれ量とし、この変化を図－７に示す。図－７より締結式ボックスジベルを用いたいずれの供試体とも繰返し初期から繰返し回数が増大してもずれ速度の増大は認められず最終的に２００万回繰返し疲労試験完了後においてもずれ量の増大はなく、疲労試験時のジベルのせん断破壊は認められなかった。

表－５ 疲労試験結果一覧

供試体 番号	締結ボルト の材質	最大荷重比 (%)	繰返し回数 ($\times 10^4$)
D-1	SS41	30	200
D-2		40	58, 65, 38
D-3		45	200
D-4	S35C	50	200
D-5		60	200
D-6		60	200

但し、D-2供試体は、疲労試験機のトラブルにより途中で繰返し載荷を中断。



図－７ 繰返し回数－ずれ量曲線(平均荷重時)

6. まとめ

締結式ボックスジベルを用いた押し抜きせん断タイプの供試体により静的載荷試験及び疲労試験を実施した結果を要約すると次のとおりである。

(1) 静的せん断試験により締結式ボックスジベルの一本当りの破壊せん断力 S は以下のとおりである。

SS41 : $S = 27.9 \text{ tf}$ (平均せん断応力度 $\tau_s = 2628 \text{ kg/cm}^2$)

S35C : $S = 26.6 \text{ tf}$ (平均せん断応力度 $\tau_s = 3000 \text{ kg/cm}^2$)

(2) 静的載荷による荷重—ずれ曲線の挙動は、 $S = 7.5 \text{ tf}$ (SS41 : $\tau_s = 700 \text{ kg/cm}^2$, S35C : $\tau_s = 850 \text{ kg/cm}^2$) までは、ほぼ弾性的な挙動を示す。

また、SS41では $S = 15.6 \text{ tf}$ ($\tau_s = 1470 \text{ kg/cm}^2$)、S35Cで $S = 10.2 \text{ tf}$ ($\tau_s = 1150 \text{ kg/cm}^2$) 以上において載荷時のずれ量が、除荷してもそのまま残留し、ずれ量が増大する。

このことより、締結式ボックスジベルの弾性限界におけるジベルのせん断応力度はSS41 : $\tau_s = 700 \text{ kg/cm}^2$, S35C : $\tau_s = 850 \text{ kg/cm}^2$ また、ずれ限界のせん断応力度はSS41 : $\tau_s = 1470 \text{ kg/cm}^2$, S35C : $\tau_s = 1150 \text{ kg/cm}^2$ 程度と考えられる。

よって、締結ボルトとして、SS41の材質使用の場合が、S35Cと比較し、じん性に富み、ずれ限界時のせん断応力度も大きく、合成效果があり、力学的に有利であるとあ考えられる。

(3) せん断疲労試験による繰返し回数—ずれ曲線より、繰返し荷重によるずれ量の変化はなく、残留ずれ量の増大は認められずほぼ一定である。

(4) せん断疲労試験結果より、いずれの供試体ともずれ速度の増大はなく、200万回最大疲労繰返し試験終了後においてもずれ量の増加はなくせん断ずれ破壊は認められない。

以上より、改良前のボックスジベルの合成結果はすでに実験及び実構造物において十分満足のいく成果を得ているが、ボックスジベルの溶接品質保証と施工性の改善を目的に締結式ボックスジベルについて静的および動的に載荷を行ったが、ジベルのせん断応力度の低下はなく、疲労繰返し試験終了後でも、ボックスジベルのような大巾なずれ増加およびせん断ずれ破壊はなく、じん性に富み、終局の合成效果は改良前のボックスジベルより高く、技術的に安全かつ施工性にすぐれたジベル構造である。

〔謝辞〕

本試験の実施にあたり、九州共立大学工学部技能員、安藤忠夫氏ならびにコンクリート材料研究室の皆様に労を頂いた。厚く御礼申し上げます。

〔参考文献〕

- 1) 松下博通、別府英生、西山文生、鈴木広一：ボックスジベルを用いた鋼桁とプレキャスト床版との合成效果について、コンクリート工学年次論文報告集、第10巻、第2号、1988
- 2) 松下博通、久野公徳、高取広：ボックスジベルのせん断疲労強度に関する研究、コンクリート工学年次論文報告集、第12巻、第2号、1990
- 3) 松下博通、久野公徳、鈴木広一：ボックスジベルで結合したプレキャスト床版を用いた合成桁の載荷実験、土木学会第43回年次学術講演会概要集：第5部 昭和63年10月
- 4) 中井博編：プレキャスト床版合成桁橋の設計・施工
- 5) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説Ⅱ鋼橋編、平成2年3月