

I-50 コンクリート充填ボックス鋼床版の実験的研究

大阪大学工学部

正員 前田幸雄

道路公団本四調査事務所長

正員 相良正次

大阪大学大学院

学生員 松井繁之

1 まえがき

従来用いられてきた道路橋床版には、鉄筋コンクリート床版・鋼床版が大勢を占めるが、いずれも耐久性・耐風安定性を考慮すれば、長大吊橋の床版として一長一短があり、剛性が大で、耐久性のある新しいタイプの床版の開発が望まれていた。また、長大橋においては、部材のプレハブ化による利点は見逃せなく、床版もプレハブ化に適したものとしよう。そこで筆者らは、上述の問題もある程度解決し得るとして、鋼箱桁の内部にコンクリートを充填して、鋼・コンクリートの協働作用を期待し得る“コンクリート充填ボックス鋼床版”を考案した。そして、この床版の挙動特性・最終耐荷力等を研究するため、静的載荷試験を行い、その結果、他床版と比較して有利なものであることを確認した。ここにその結果を述べる。

2 試験体及び試験方法

試験体寸法は図-1に示す通りである。供試体は、ウェブ間隔・スタッドジベル間隔等が等しく、破壊荷重・コンクリートと鋼表板との合成作用に与える影響を研究するため、表-1の如く3種類に大別して比較検討を試みた。載荷方法は2辺単純支持で、 10cm の帯状載荷とした梁型式として考えたものである。測定は、ダイヤルゲージを用いて $L/2$ 点、 $L/4$ 点のタワミ、両端部の鋼とコンクリート間のズレを、電気抵抗線ひずみゲージを用いて、鋼表板とウェブ諸要点の応力を測定した。

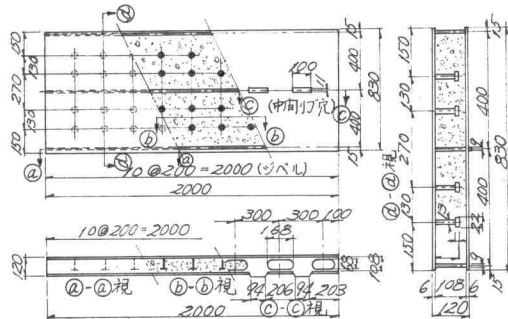


図-1 コンクリート充填ボックス鋼床版(A-2)

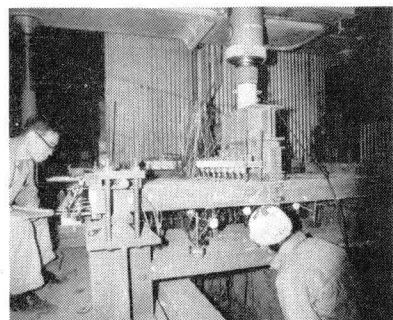


写真-1 載荷状況

供試体	ウェブ	スタッドジベル			標準横断面形	員数
		圧縮フランジ	引張フランジ	総本数		
A系列	A ₁	3枚	—	—		2体
	A ₂	4行5列	—	20		* 2
	A ₃	4行9列	—	36		* 2
	A ₄	8行9列	—	72		* 2
B系列	B ₁	1行8列	—	9		** 2
	B ₂	1行8列	1行9列	19		** 2
	B ₃	5行9列	—	45		** 2
	B ₄	5行9列	1行9列	55		** 2
C ₁	—	—	—	—		** 2
						Σ 18体

* 2体の内、1体について圧縮側フランジ内側に油を塗り意識的に附着を切った。

** 2体の内、1体について鋼板の弾性域まで偏心載荷を行った。

表-1 供試体の分類

3 実験結果と考察

実験結果の概略を荷重段階ごとに表-2に示す。又、図-2から図-5に荷重と、歪み、タワミ、ズリの測定結果を示す。これらの結果から、本実験は鋼とコンクリートとの合成構造で説明できると言える。この充填コンクリートと鋼表板の合成作用は、静的荷重では両者の接触面積が大きいことから、マサツの効果のみで発揮されている。油を塗付した供試体の場合においても圧縮側スタッドジベルの効果は明瞭でない。しかし、圧縮引張の両側に打たれたスタッドジベルは、ズレ・剪断おくれの減少、及び、最終荷力の向上に効果を期待できること等がわかる。図-4から明らかなように梁としての理論値と実験値とは相当の差があることは、コンクリートのひびわれ発生後、ウェブにより鋼表板にせん断遅れの現象が発生したためであり、次に述べる有効中を考慮すれば、鋼表板とコンクリートとの合成断面で説明出来ることが理解される。

荷重	表-2 試験体の静的挙動概況
0~12トン	6トン迄コンクリートにひび割れ発生せず全断面有効。B系列では8トン位から大きな音が発生し、同時に荷重が0.5トン位低下し全断面有効の限界値を明瞭に示すが、A系列では、10~12トン位まで持続するものもあった。
12~24トン (B系列) 12~36トン (A系列)	鉄筋コンクリート合成断面の断面性能が持続すると考えられる。コンクリートにひび割れ発生すると鋼表板にせん断おくれによる歪みおくれが現れた。これはウェブ3本のA系列よりも2本のB・C系列の方が顕著であった。
24~40トン (B系列) 24~36トン (A系列)	せん断おくれのためB系列で24トン位、A系列で36トン位の剛性の大きなウェブのある部が降伏応力に達し、スラッシュ載荷が増加した。
40~破壊 (B系列) 40~破壊 (A系列)	B系列で40トン位、A系列で46~48トン位の荷重持続状態が極めて悪くなり支向中央の測定点では、すべて降伏応力に達し全塑性状態に達した。さらに荷重が増加すると表面黒炭が支向中央付近の端部ウェブ近辺の剥離によりYield lineがよく観察された。
破壊荷重	鉄筋断面降伏し、最大荷重に達すると圧縮側表板が不安定現象を呈して破壊した。

図-2 荷重-歪図

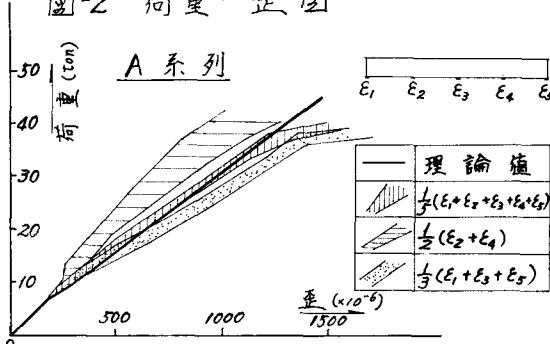


図-3 荷重-歪図

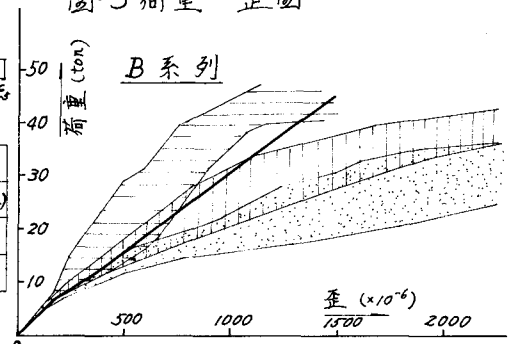


図-4 荷重-タワミ図

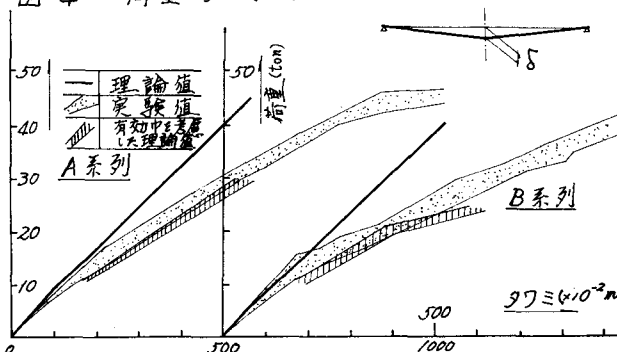
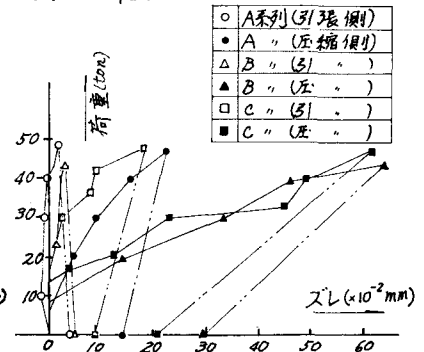
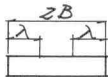
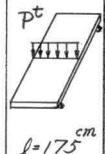
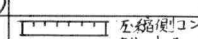


図-5 荷重-ズリ図



有効中 充填コンクリートにひび割れが入った後は、鋼表板上に剪断おくれが生じ応力・タワミの実測値は全中有効とは理論値とは一致しない。そのため、上下表板の歪測定値から幅員方向の応力分布を放物線状と仮定して最小自乗法で応力分布の実験曲線を求め、ウェブに対する表板の有効中： λ を $\lambda = I_{\text{axial}} / I_{\text{max}}$ の定義の下に求め、各試験体ごとの最小値を表-3に示す。この表よりスタッドジベルの効果は同一系列内では明瞭には表われないが、B系列の方がC系列より若干大きな値となっている。又、コンクリートをリブに換算した値より実験値の方が大きくこれは充填コンクリートの持つ特別の効果がある。又、本床版は鋼桁とコンクリートとの合成構造であるため、有効中も合成桁の規準（DIN-1078）にほぼ等しくなる。コンクリート梁とする場合は、安全側で、鋼床版として考えたと逆に危険側である。

最終耐荷力 最終耐荷力に関する実験値と、最大モーメント位置に於て塑性ヒンジが形成されるという仮定の下に計算した理論値を表-4に示す。

種 別	λ/B		備 考	載荷状態
	A 系 列	B 系 列		
実験値 ($\lambda_{\min}$)	0.74	0.59	 鋼箱桁についての測定結果で上下フランジの差が小さいので両者の平均を記載する。	 l=175cm
	0.77	0.74		
	0.69	0.60		
	0.79	0.60		
	0.77	0.59		
	0.85	0.70		
	0.81	0.70		
	0.81	0.66		
		0.59		
		0.59		
	0.78 (平均)	0.64 (平均)		
鋼床版とする場合 溶接鋼道路橋示方書 DIN. 1078	0.64	0.46	 左端側コンクリートを鋼リブに換算 (n=7.0) 鋼箱桁のみとした場合 (46条、表-5)	
	0.73	0.55		
	0.91	0.72		
	0.88	0.62		

A系列での実験値と理論値の20%近い 表-3 有効中について
相違は、A系列の最終耐荷時に於けるタワミが10cm 以上にもなるため、中10cm の載荷板内では、それは等分布荷重として作用せず、載荷板の縁部で点集中荷重になってしまい、床版厚による荷重分配と考え合わせると支間中央より約10cm 付近で最大モーメントに達し、この位置で塑性ヒンジが形成されるためである。この考え方はA系列とB系列のYield lineの発生状況と比較した場合、A系列では、幅員方向のYield line がほぼ、この位置まで発生していることより、妥当性を得ていると思われる。表中の修正値は、このことを考慮した値である。また破壊時には、どの供試体とも、上側鋼表板が不安定現象を呈する。これは、充填コンクリートが圧潰し、それによって鋼表板に上揚力が作用したためであると考えられる。

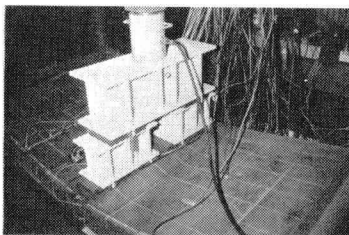


写真-2 破壊状況

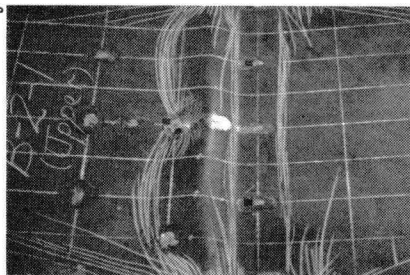


写真-3 上側表板の不安定現象

供試体	理論値 (c)	実験値 (c)
A-1-1	52.9 (60.0)	62.5
A-1-2	53.3 (66.3)	64.0
A-2-1	54.6 (59.3)	60.5
A-2-2	55.0 (58.9)	59.0
A-3-1	54.7 (59.4)	63.5
A-3-2	54.7 (60.2)	64.5
A-4-1	54.4 (66.6)	70.0
A-4-2	54.4 (59.1)	63.0
B-1-1	52.9	54.0
B-1-2	54.5	55.0
B-2-1	50.0	55.0
B-2-2	49.7	53.6
B-3-1	50.0	52.0
B-3-2	50.2	53.7
B-4-1	51.5	55.8
B-4-2	50.0	53.2
C-1-1	53.5	55.0
C-1-2	53.5	57.0

(c)内は修正値

表-4 破壊荷重

他型式床版との比較 比較対照のため、現在一般に用いられている床版として (1)ロビンソン型床版 (床版厚12cm) (2)Open格子床版 (床版厚15cm) (3)Solid格子床版 (床版厚12.4cm) (4)R-C床版 (床版厚16~30cm) を選んだ。各床版の概要は表-5に示した。

重量：床版重量および鋼重は表-5に示す。床版重量に関しては、一定床版厚に比例するものと考えてよく、同じ厚さの他床版とはほぼ同じ重量である。しかし、R-C床版と比較すれば非常に軽量となっている。ところが、鋼重に関しては上下表板に鋼板を用いるために非常に大きくなる欠点がある。しかし、連続板として適用する場合、何等難しい考慮が必要でないことより相殺されると思われる。

破壊荷重：全床版の破壊型式を、載荷点下で塑性ヒンジが形成されると仮定すると破壊荷重は図-6の概になる。本実験床版は、この図で明らかなように、他型式床版の2~3倍もの耐荷力を有することになる。一般の一等橋に用いられているR-C床版 ($D=16\text{cm}$) と比較すると5~6倍にも達する。

又、R-C床版にみられるような危険なPunching-shear による破壊も非常に起り難いと考えられる。

応力変化・タワミ変化：図-8は上記各床版の荷重と応力の変化図である。コンクリート充填ボックス鋼床版の理論値はセン断おくれの影響を無視したもので応力増加度は小さい。しかし、実際にはセン断おくれが大きく2ウェブのB系列では18トン位で理論値の2倍にも達してしまう。他の床版と比較すればOpen格子床版に匹敵する。しかし、やはりこの型式でも一般のR-C床版の約1/2以下の応力しか発生しない。次に、図-7は床版厚に対する断面二次モーメント(換算)の関係を示した。コンクリート充填ボックス鋼床版の実験値はセン断おくれの影響を考慮した換算断面二次モーメントである。断面減少の激しいB系列でも普通のR-C床版よりは大きく、これはとりもなおさずタワミ量が小さいことになる。格子床版に比べても優れている。ただセン断おくれのないロビンソン床版よりもタワミ・応力が大きくなる。しかし、A系列に関しては、どの型式よりも優れた床版と言える。

表-5 各種床版重量

記号	断面形状	重量 (kg/m ²)	鋼重 (kg/m ²)
○		370	120
●		360	116
X		342	74
△		107	107
■		351	60
—		416 ~745	40

