

合成桁の両振れ曲げ疲労試験に関する基礎的研究

正員 中村 作太郎 *
正員 ○志 村 政 雄 **

1. 緒 言

合成桁の疲労に関する研究は、世界各国において漸く実施されるようになって来たが、まだ未知・未開発の研究問題が沢山残っている。

著者等は自動車荷重・鉄道車輛荷重のほか、風荷重・地震荷重などの単位サイクル数の異なる動的荷重が載荷された場合をも想定し、片振れだけでなく両振れ繰返し荷重を受ける合成桁模型の曲げ疲労現象について試験研究を試みた。すなわち、図-1に示すような3本の実物大に近い合成I桁模型に関し、鉄筋コンクリート床版の亀裂・破壊だけに止まらず、鋼I桁の亀裂・崩壊に至るまでの過程と現象を全面的に追求し、合成桁の曲げ疲労破壊に関する未知・未開発の研究問題を解明するのに必要な各種の興味ある基礎的現象を見出した。

2. 模型について

合成I桁の模型製作に当っては、出来るだけ鉄筋コンクリート床版の強度を高め、床版の破壊のみならず、鋼I桁の亀裂・崩壊に至るまでの現象と過程の全貌を試験出来るように工夫した。すなわち、鉄筋コンクリート床版の厚さは実物に近く15cmとし、その強度の指定は材齢28日で400 Kg/cm以上とした。また、合成桁としての機能を完全に発揮出来るように、支保工を工夫し死活荷重合成桁として製作した。

鋼桁にはSS41を使用した。材料試験の結果、引張強度の平均値4,786 Kg/cmを示し、コンクリートの28日強度の平均値430 Kg/cmとなり、予期以上の高強度コンクリート床版を有する合成I桁模型が得られた。

また、模型については同一断面・寸法(図-1参照)のもの3本(No.1, No.2, No.3)を、全く同一仕様の基で製作し、その1本1本に対し、それぞれ異なった目的の試験に使用するように配慮した。

なお、ストレインゲージの貼付位置及び断面応力照査位置を示せば、図-2の通りである。

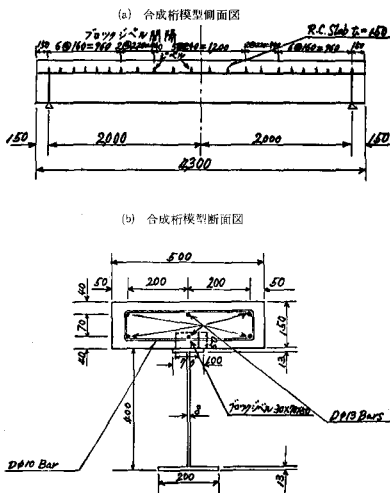


図-1 合成I桁の模型寸法

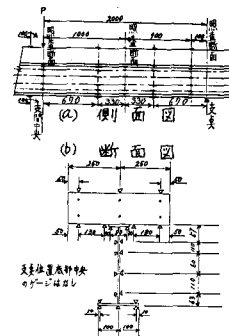


図-2 模型のストレインゲージ貼付位置及び応力照査断面位置

*室蘭工業大学 教授

** // 助手

3. 試験装置・測定機器及び記録装置

実験に用いた試験装置・測定機器及び記録装置を列記すれば次の通りである。

島津製作所製サーボパルサー EHF30型の構造物疲労試験機（両振れ型、動荷重最大能力30 t、静荷重最大能力40 t）、SM-6 K型抵抗線静的歪測定器、DPM-E型抵抗線動的測定器、ダイヤルゲージ（精度： $1/100 \text{ mm}$ ）、ビジグラフ FR-301型、ラピコダー RMV-33型電磁オシログラフ。

4. 実験方法^{8),9)}

上述の島津製作所製の構造物疲労試験機を使用し、合成 I 桁の模型No 1、No 2、No 3共 1本ずつ、支間 4.0 m

に設定した曲げ試験支持台の上に載せ、図-2に示す位置にストレインゲージを貼付完了後、すでに挙げた測定機器・記録装置を酷使し、中央 1点集中線荷重載荷により、次に示すような各種の実験を行った。

(1) 模型No.1の試験

模型No.1については、最初、両端固定ヒンジ挟持（上下より取付枠で締め付ける固定方法の支持）の状態で、静荷重の最大能力40 tまで静荷重試験を行ない、次に、同一の支持状態のまま、表-1の通り、片振れ及び両振れ繰返し荷重試験を行った。

表-1 模型No.1の片振れ及び両振れ繰返し荷重試験

荷重種別	載荷順	Repeated Load (t)		Hz (N/Sec)	Number of cycle (N)	Total N. of Cycle (ΣN)
		Max	Min			
片振れ	①	10	4	5	10×10^4	10×10^4
	②	15	5	4	17×10^4	27×10^4
	③	20	6	3	30×10^4	57×10^4
	④	25	6	2	30×10^4	87×10^4
	⑤	30	6.5	1.5	30×10^4	117×10^4
両振れ	⑥	20	-20	0.5	3×10^4	120×10^4
	⑦	30	-30	0.5	0.12×10^4	120.12×10^4

(2) 模型No.2の試験

模型No.2については、両端固定ヒンジ挟持の状態で、始めから終りまで、両振れ繰返し荷重試験のみ行った。

すなわち、載荷せる荷重 $P = \pm 20 \text{ t}$ の一定とし、繰返し単位サイクル数にも、 $1 \text{ Hz} (1 \text{ Cy./Sec})$ の一定値を用い、繰返し回数10万回程度（模型の崩壊回数）まで、試験続行した。

(3) 模型No.3の試験

模型No.3については、最初、両端単純支持及び両端固定ヒンジ挟持の状態で、弾性限度以内における静荷重試験を行なうて、支持条件の違いによる差異を追求し、更に、両端固定ヒンジ挟持の状態で、表-2に示した通りの荷重・単位サイクル数および総サイクル数を用いて、両振れ繰返し荷重試験を行なった。

表-2 模型No.3の両振れ繰返し荷重試験

荷重種別	載荷順	Repeated Load (t)		Hz (N/Sec)	Number of Cycle (N)	Total N. of Cycle (ΣN)
		Max.	Min.			
両振れ	①	10	-10	3	22×10^4	22×10^4
	②	10	-10	1	10.7×10^4	32.7×10^4
	③	10	-10	0.5	5×10^4	37.7×10^4
	④	15	-15	1	7.5×10^4	45.2×10^4

5. 実験 成 果

(1) 断面応力度分布

模型No. 1 (両端固定ヒンジ挟持) 及び模型No. 3 (両端単純支持) の静荷重載荷時の支間中央点における断面応力度分布, 模型No. 2 (両端固定ヒンジ挟持) の $\pm 20 t \cdot 1 Hz$ 両振れ繰返し荷重載荷 1 万回・6 万回・10 万回後における静荷重載荷時の支間中央点の断面応力度分布, 模型No. 3 (両端固定ヒンジ挟持) の両振れ途中 ($10 t \cdot 1 Hz \rightarrow 10 t \cdot 0.5 Hz$ 及び $10 t \cdot 0.5 Hz \rightarrow 15 t \cdot 1 Hz$) の静荷重載荷時における支間中央点の断面応力度分布を示せば, 図-3, 4, 5 の通りとなる。

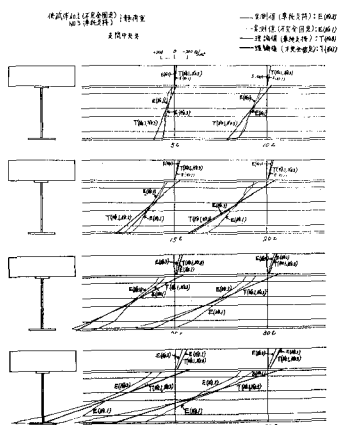
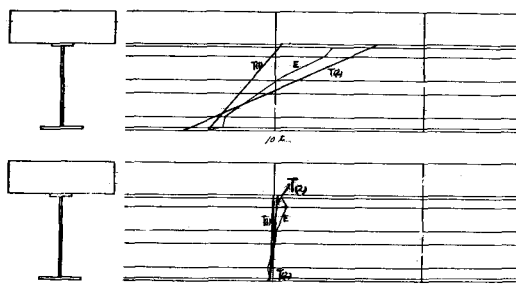


図-3 模型No. 1, No. 3 の静荷重載荷時の支間中央点における断面応力度分布

試験荷重: $10 t \cdot 1 Hz \rightarrow 10 t \cdot 0.5 Hz$ (不完全繰返し)
支間中央点



試験荷重: $10 t \cdot 0.5 Hz \rightarrow 15 t \cdot 1 Hz$ (不完全繰返し)
支間中央点

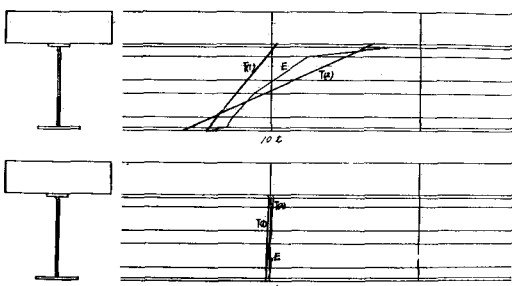
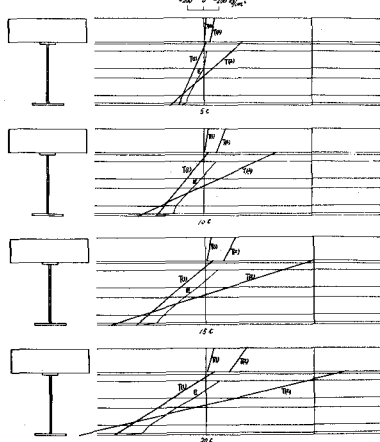


図-5 模型No. 3 (両端固定ヒンジ挟持) の両振れ途中の静荷重載荷時における支間中央点の断面応力度分布

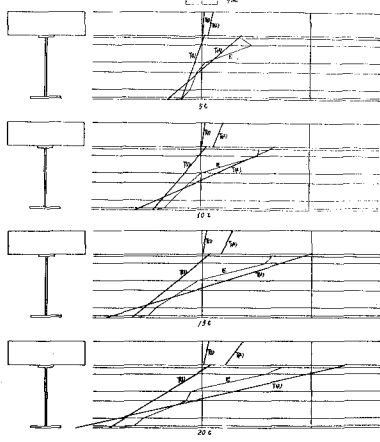
試験荷重: $20 t \cdot 1 Hz$ (不完全繰返し)
支間中央点

試験荷重: $20 t \cdot 1 Hz$ (不完全繰返し)
支間中央点

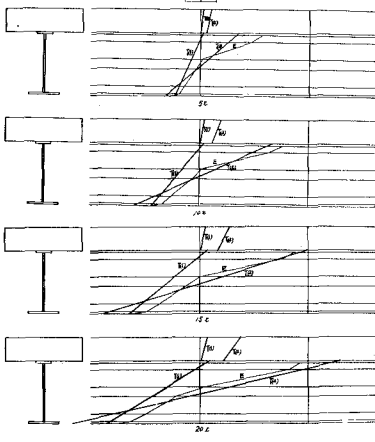
試験荷重: $20 t \cdot 1 Hz$ (不完全繰返し)
支間中央点



(a) 1 万回両振れ後載荷



(b) 6 万回両振れ後載荷



10 万回両振れ後載荷

図-4 模型No. 2 (両端固定ヒンジ挟持) の $\pm 20 t \cdot 1 Hz$ 両振れ繰返し荷重載荷 1 万回, 60 万回, 10 万回後における静荷重載荷時の支間中央点における断面応力度分布

(2) 荷重 たわみ曲線

模型No. 1 (両端固定ヒンジ挟持) 及び模型No. 3 (両端単純支持) の静荷重試験における支間中央点の荷重一たわみ曲線, 模型No. 2 (両端固定ヒンジ挟持) の両振れ繰返し荷重試験途中の静荷重試験による支間中央点における荷重一たわみ曲線を示せば, 図 6, 7 の通りとなる。

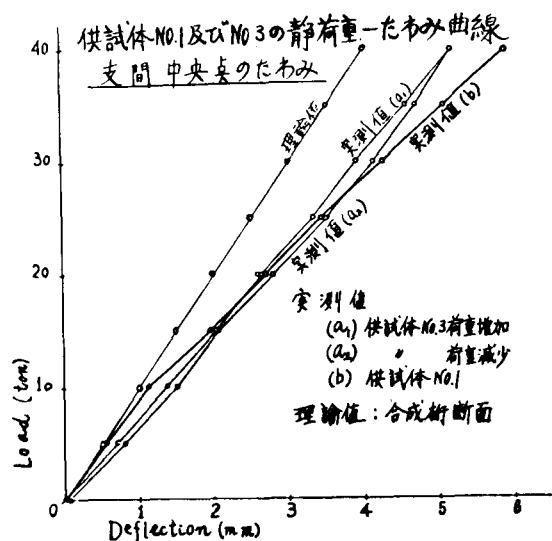


図-6 模型No.1, No.3の静荷重による支間中央点の荷重—たわみ曲線

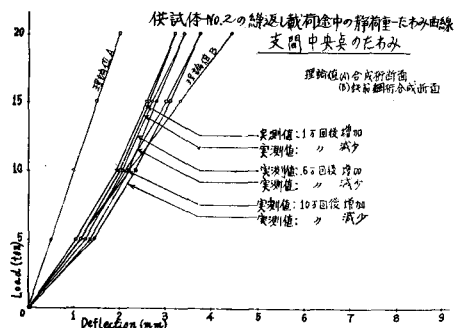
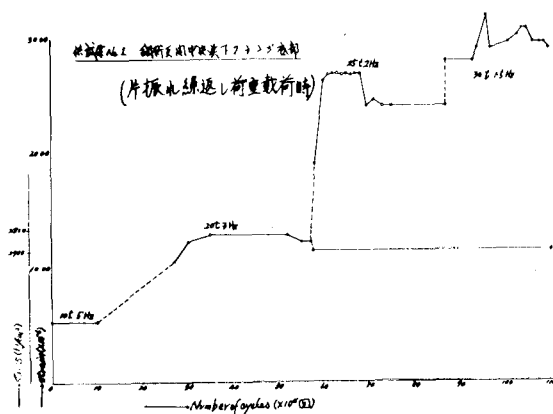


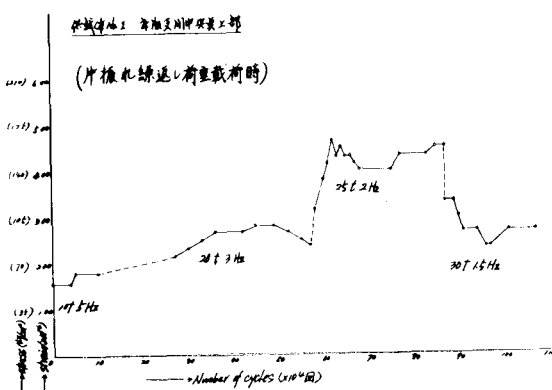
図-7 模型No.2の両振れ途中の静荷重による
支間中央点における荷重—たわみ曲線

(3) サイクル数-歪(応力度)曲線及び荷重-歪曲線

模型No. 1の片振れ繰返し載荷時の支間中央点における鋼Ⅰ桁下フランジ底部・鉄筋コンクリート床版上部のサイクル数一歪（応力度）曲線，模型No. 2の両振れ繰返し載荷後の支間中央点における鋼Ⅰ桁上縁部・下縁部の荷重一歪曲線，模型No. 2の両振れ繰返し載荷時の支間中央点における鋼Ⅰ桁下フランジ底部・鉄筋コンクリート床版上部のサイクル数一歪（応力度）曲線，模型No. 3の両振れ繰返し載荷時の支間中央点における鋼Ⅰ桁フランジ底部・鉄筋コンクリート床版上部のサイクル数一歪（応力度）曲線を示せば，図- 8，9，10，11の通りとなる。



(a) 鋼 I 桁下フランジ底部



(b) 鉄筋コンクリート床版上部

図—8 模型No.1の片振れ繰返し載荷時の支間中央点におけるサイクル数—歪（応力度）曲線

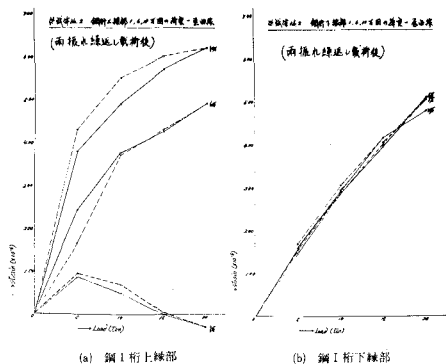


図-9 模型No.2の両振れ繰返し載荷後の支間中央点における荷重—歪曲線

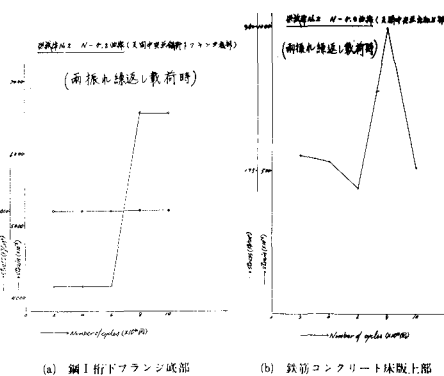
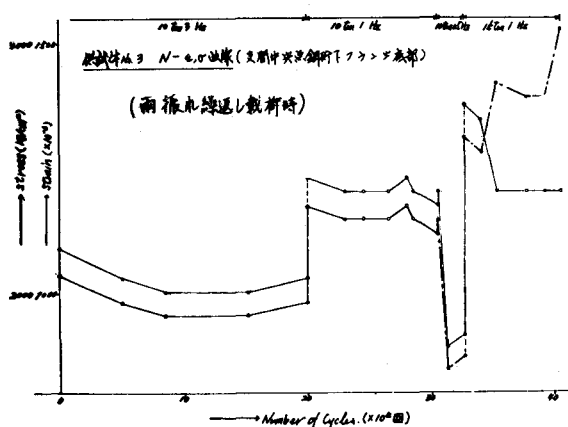
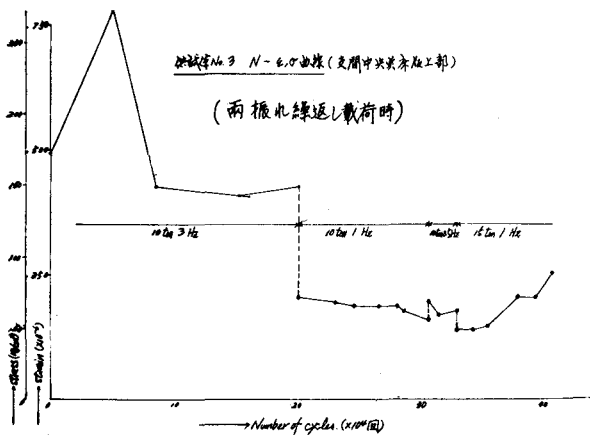


図-10 模型No.2の両振れ繰返し載荷時の支間中央点におけるサイクル数—歪（応力度）曲線



(a) 鋼 I 桁下フランジ底部



(b) 鉄筋コンクリート床版上部

図-11 模型No.3の両振れ繰返し載荷時の支間中央点におけるサイクル数—歪（応力度）曲線

(4) 鉄筋コンクリート床版の破壊模様

模型No.1, No.2及びNo.3における鉄筋コンクリート床版の破壊模様を示せば、図-12の通りとなる。

6. 結 言

1) 両端単純支持と両端固定ヒンジ挾持の静荷重試験結果を比較して見ると、支間に比べ漸面積のかなり大きい本研究用の合成桁模型では、その差異が殆んど見られなかった。

2) 自動車荷重を想定しての片振れ繰返し疲労試験の結果からすれば、床版コンクリートの強度を大きくすることとその厚さを大きくすることは、合成桁全体の強度耐久性を増す上に著しい効果があり、鉄筋コンクリート床版の一部に僅かの亀裂が生じても全体の破壊は仲々起

らず、片振れ疲労破壊には著しい繰返し回数を要することがわかった。

3) 風・地震荷重を想定しての両振れ繰返し疲労試験の結果から見ると、荷重は割合小さくとも鉄筋コンクリート床版に負の曲げモーメントが作用するから、コンクリートに引張が働き、床版に亀裂が入り易く、またその亀裂は直ぐ大きく広がる傾向にあった。

鋼桁の亀裂は、上フランジ載荷点付近特にブロックジベルの辺りより生じ、ウェブ中央部に波及して行き、鋼桁全体の崩壊に進行して行った。この場合、載荷点付近以外の個所における鋼桁の疲労状態は余り見られなかったから、応力集中の影響は予想外に大きいものと考えられる。

また、片振れ繰返し荷重を100万回程度も受けている合成桁に、僅かの回数の両振れ繰返し載荷を与えても、

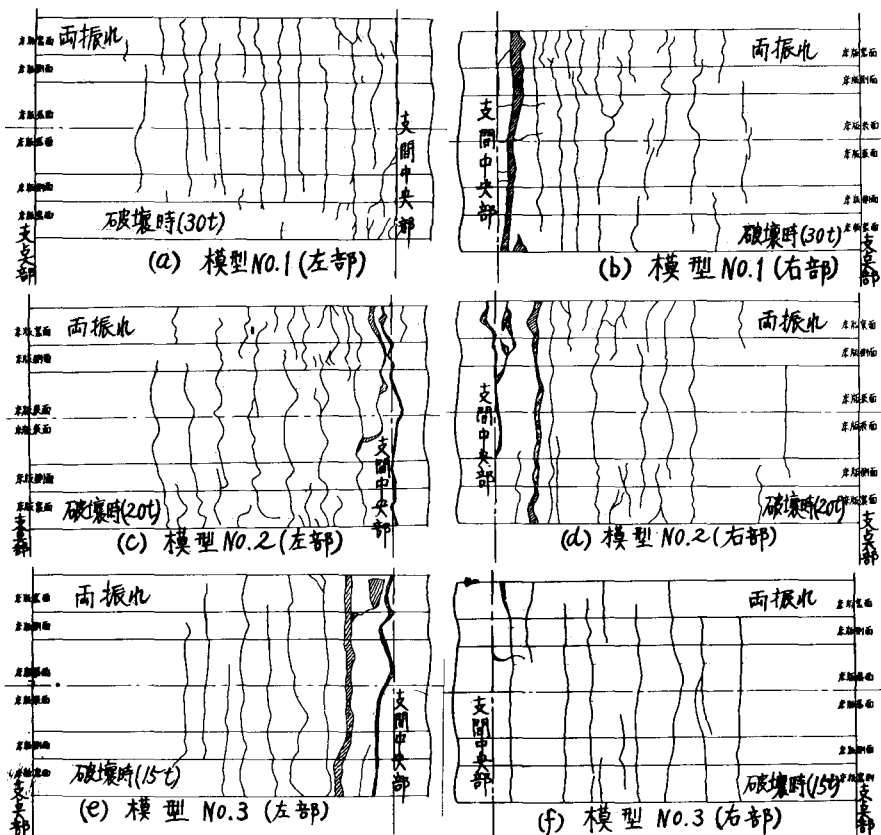


図-12 模型No. 1, No. 2, No. 3 における鉄筋コンクリート床版の破壊模様 (両振れ荷重載荷時)

急速に破壊に進行する可能性が充分にあることが確認出来た。

4) 今後の研究課題としては、片振れ繰返し荷重の回数をもっと遙かに増加し、長時間に渡る観測を行うことにより、頻度の高くなりつつある自動車荷重の想定を基とした研究と、風・地震荷重を想定してのもっと小さな両振れ繰返し荷重を長時間に渡って載荷し、繰返しのサイクル数と疲労破壊との関係を、荷重の大きさを徐々に増しながら観測・追求して行く研究などにあるものと思う。

なお、本研究には北海道科学研究費補助金を受けたことを付記し、感謝の意を表するとともに、また、研究の実施に当っては、室蘭工業大学土木工学科の教職員及び学生諸君のご協力を得たことと、北海道開発局土木試験所・日鉄セメント K・K のご援助を得たことに対し、心からお礼を申し上げる次第である。

参 考 文 献

1) Charles Culver d Robert Coston: Proceedings

of the American Society of Civil Engineers, Structural Division, ST2, 1(1961)

- 2) 赤尾親助・三宮和彦: 土木学会第20回年次学術講演会講演概要 I - 78, 78(1965)
- 3) 阿部英彦・中野昭郎: 土木学会第20回年次学術講演会講演概要 I - 79, 79(1965)
- 4) 前田幸雄・梶川靖治: 土木学会第23回年次学術講演会講演概要 I - 169, 467(1968)
- 5) 前田幸雄: 土木学会第24回年次学術講演会講演集 I - 60, 163(1969)
- 6) 北海道開発局土木試験所構造研究室: 石狩河口橋側径間連続合成ゲタ疲労試験報告書, 1(1971)
- 7) 大島久・佐々木秀男: 土木学会第27回年次学術講演会講演概要集 I - 110, 303(1972)
- 8) 中村作太郎・志村政雄: 土木学会第27回年次学術講演概要集 I - 109, 299(1972)
- 9) 中村作太郎: 日本建築学会昭和47年度大会学術講演梗概集, 構造系 - 2471, 1291(1972)