

土木研究所資料

第1717号

交通供用下で分割施工される
コンクリート床版の耐荷力

昭和56年8月

建設省土木研究所
構造橋梁部橋梁研究室

Copyright ©1981 by P. W. R. I.

All rights reserved, No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Director of P.W.R.I.

この報告書は、土木研究所長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複写は土木研究所長の承認を得ずしてこれを行なってはならない。

まえがき

コンクリート床版の打替え工事を行う場合、交通を全面通行止めにして施工することが、床版の構造およびコンクリートの品質の上から望ましいことは当然である。しかし、現実問題としては、交通量が多く、う回路の乏しい橋梁において、床版工事を理由に長期間にわたり全面交通止めを行うことは不可能に近い。このような場合、コンクリート床版は交通供用下で分割施工されることになる。

交通供用下でコンクリート床版が分割施工される事例は、近年ますます多くなってきている。しかしながら、この場合のコンクリート床版の施工法やその問題点について体系的に検討がなされたことはない。このたび、東京国道工事事務所が千住大橋のコンクリート床版の打替え工事を行うにあたり、施工法を慎重に検討する必要が生じたため、土木研究所において数項目の実験的検討を行った。本報告は、その内容について報告するものである。

なお、本報告の担当は次のとおりである。

建設省土木研究所

（とりまとめ担当）

構造橋梁部橋梁研究室

室 長 佐 伯 彰 一

研究員 金 井 道 夫

白 浜 浩 （現；北陸地方建設局）

平 山 伸 司

（コンクリートの品質担当）

地質化学部コンクリート研究室

室 長 小 林 茂 敏

研究員 河 田 博 之

（交通振動の解析担当）

構造橋梁部構造研究室

室 長 山 本 邦 夫

研究員 桂 樹 正 隆

江 本 勝 （現；近畿地方建設局）

建設省関東地方建設局東京国道工事事務所

所 長 野 村 和 正

調査課長 岩 崎 薫 （現；工務課長）

調査課
計画係長 溝 井 貞 夫

目 次

ま え が き

1. 千住大橋の概要	1
2. 千住大橋床版施工上の問題点	1
3. 実験条件の検討	6
4. 実験に使用した材料	9
5. コンクリート圧縮強度への影響	15
5.1 実験の概要	15
5.2 若材令のコンクリートの圧縮強度	16
5.3 実験結果	16
6. 床版曲げ強度への影響	24
6.1 実験の概要	24
6.2 実験結果	27
7. 鉄筋付着強度への影響	39
7.1 実験の概要	39
7.2 実験結果	40
8. 結 論	42

1. 千住大橋の概要

今回、コンクリート床版が交通供用下で分割施工されるのは、千住大橋新橋である。千住大橋は、一般国道4号線荒川区南千住6丁目地先にあり、旧橋は橋長91.7m、幅員22.2mのタイドアーチ橋である。旧橋の竣工は昭和2年であり、現在も下り線用として3車線が供用されている。一方、新橋は旧橋の下流側に位置し、昭和48年に東京都が都市計画事業として施工したものである。新橋は、現在上り線用として4車線が供用されているが、昨今の交通量増大、大型車輛の増加にともない床版の破損が著しく、コンクリート床版の打替えを行うことが決定された。

新橋の概要は次のとおりである。

型 式 ; I断面合成プレートガーダー橋

箱断面合成プレートガーダー橋(都心側の一部)

橋 長 ; 本線 502.50m , 分岐線 75.00m

幅 員 ; 全幅 8.70m ~ 19.90m

床版厚 ; 鉄筋コンクリート床版 19.0 cm

〃 20.0 cm (箱げたおよび一部のIげた)

千住大橋の平面図を図-1に示す。図に示すように、交通量は次のとおりである。

上り線 本線(高架部) 23,008 台/日

分岐線(南千住方面) 22,063 台/日

計 45,071 台/日

下り線 34,355 台/日

このように、交通量がきわめて多いために、交通止めを行ってコンクリート床版を施工することは不可能であり、分割施工を行う必要がある。分割施工の方法を図-2に示す。すなわち、1期工事においては、都市方向高架(2車線)を閉鎖して工事を行い、この間交通は分岐線と旧橋の一部に切り替える。2期工事では分岐線を閉鎖して工事を行い、交通は1期工事で施工が完了した高架部と旧橋の1部に切り替える。

床版打替え工事においては、けたのキャンパー等に変動をもたらすことがないように、新旧床版の床版厚は同一とすることが一般的である。しかし、旧床版と同じ19~20cmの鉄筋コンクリート床版を新床版で用いた場合、過酷な交通条件下で再び破損を生じる恐れがないとは言えない。このため、新床版では、小さい床版厚で大きな耐荷力を期待できるI型钢格子床版を用いることとした。箱げた部およびIげた部での新旧構造の対比を図-3に示す。箱げた部においては、片持ちブラケットの剛度が小さいため床版に悪影響を与える恐れがあるため、さらにブラケットを補強している。

2. 千住大橋床版施工上の問題点

千住大橋新橋が都心方向高架と分岐線に別れる手前の部分では、4車線が1期工事と2期工事で2車線ずつ分割施工される。このため、2期工事においては、1期工事において完成した床版

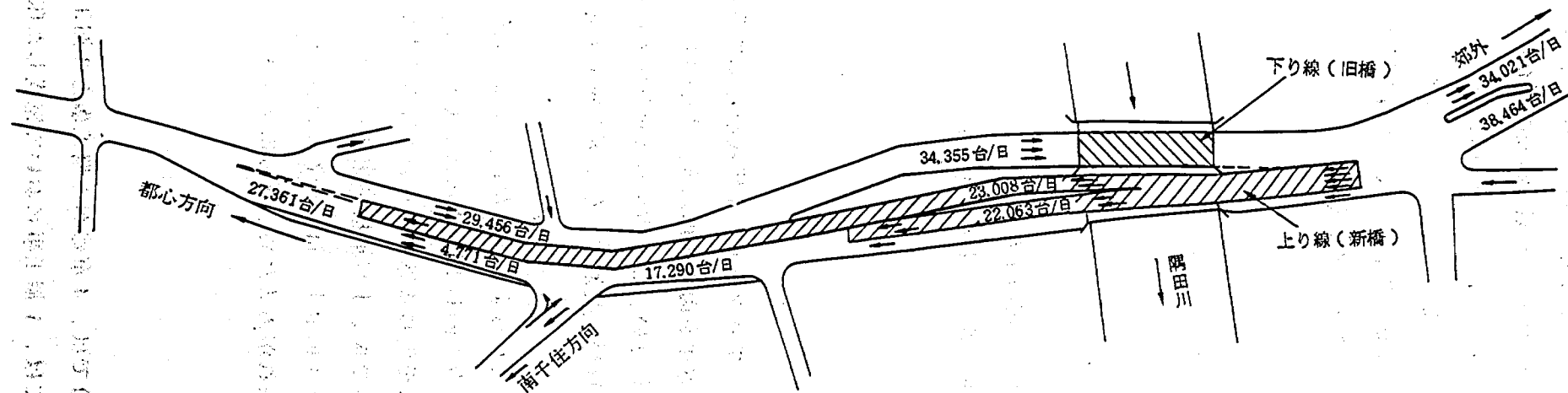
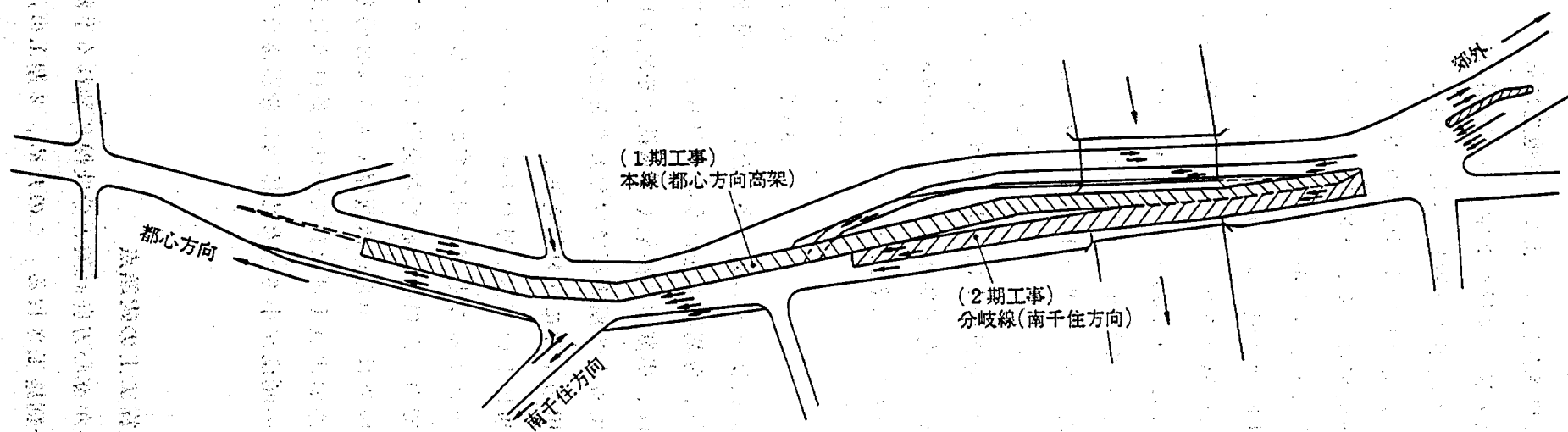
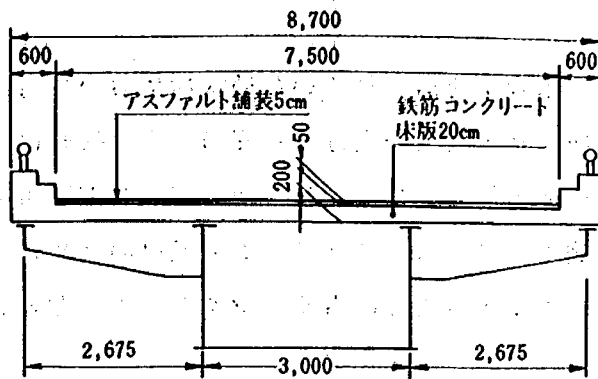


図-1 千住大橋平面図

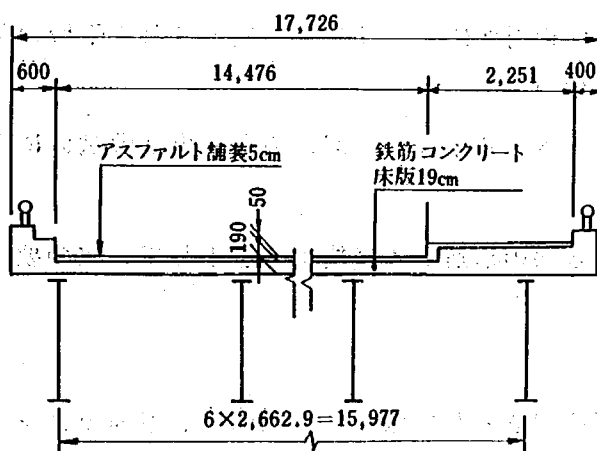
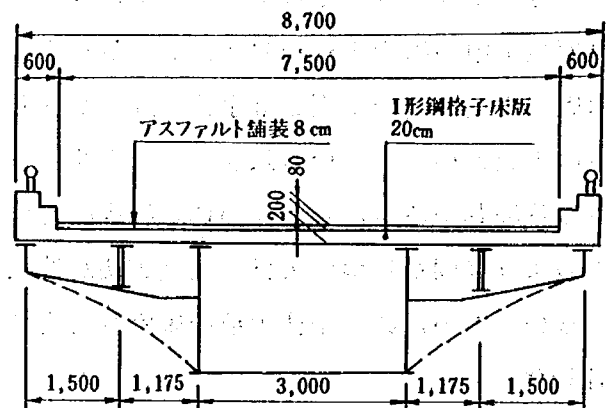
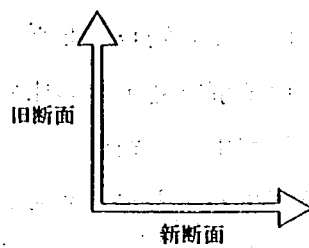


- 1期工事上り本線(都心方向高架部) = 現在の下り線(3車区間)を2車線に減少させ、本線(都心方向高架)を下り線の減少させた区間と一部分離帯切削をした区間に切廻し、2車線を確保する。なお、分岐線の流れは現状(2車線)のままとする。
- 2期工事上り分岐線(南千住方向) = 1期工事が完成した後、これに上り本線(都心方向高架部)の交通を切り替える。分岐線(南千住方向)の交通は、1期工事の上り本線を切廻した車線に切変える。

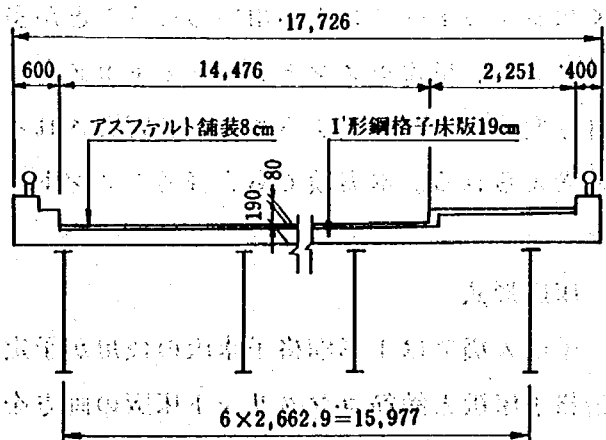
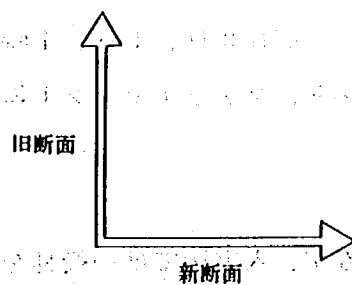
図-2 千住大橋分割施工の方法



箱げた断面



I げた断面



図一3 新旧のけた断面

上を走行する交通による振動を受けながら床版工事が行われることになる。この場合、次のような問題が生じることが考えられる。

(1) 図-4に示すように、1期工事と2期工事の床版が連結されていない状態においても、各主げたで連結されているために、1期工事で完成した床版上を走行する交通による振動は、主げた、横げたを通して2期工事で施工中の床版全体に伝達される。したがって、2期工事の床版コンクリートは、全体的な振動を受けながら施工されることになり、この振動のためにコンクリートのセメントペーストと骨材が分離して、強度・耐久性の劣るコンクリートとなる恐れがある。

(2) 一方、横げたは完全に剛なものではないので、1期工事による床版が振動した場合、2期工事で施工中の床版とは相対変位が生じることが避けられない。この場合、2期工事で施工中の床版は1期工事の床版と継手筋で接続されているため、2期工事で施工中の床版では、1期工事の床版と接続している鉄筋とコンクリートの間で相対変位が生じ、鉄筋のまわりに空けきを生じる恐れがある。このために、床版の耐荷力が著しく低下することが考えられる。

このような問題については、実験方法が確立されていないこともあり、十分な検討が行われた例はない。このため、千住大橋の床版打替えにおいては、次に示す項目の検討を行って施工法を検討した。

(1) コンクリート圧縮強度試験 ; 振動下で硬化するコンクリートの強度を確認する。

(2) 床版曲げ強度試験 ; 鉄筋とコンクリートが相対変位を受けながら施工される床版の強度を実物大供試体により確認する。

(3) 付着強度試験 ; 相対変位を受けながら施工される床版の細部の挙動を小型供試体により確認する。

これら検討を行うにあたり、新旧床版の打継ぎ部の構造および施工方法として、次の要因を考慮している。

(1) コンクリートの品質

分割施工される床版では、交通振動の影響をできるだけ低減するために、早強セメントもしくはジェットセメントが用いられることが多い。一般に、設計強度発現に要する時間は、普通セメント、早強セメント、ジェットセメントでそれぞれ28日、7日、4時間とされており、設計強度の1/3が発現するまでに必要とされる時間は、それぞれ3日、1日、1時間程度であると考えられる。本実験でも、普通セメント、早強セメント、ジェットセメントについて検討した。

(2) 床版形式

千住大橋ではI形鋼格子床版の使用が予定されているが、本実験では一般性を考えて、I形鋼格子床版と鉄筋コンクリート床版の両方を検討の対象とした。

(3) 継手筋形状

図-5に示すように、鉄筋コンクリート床版では主筋をラップさせた継手部とするが、I形

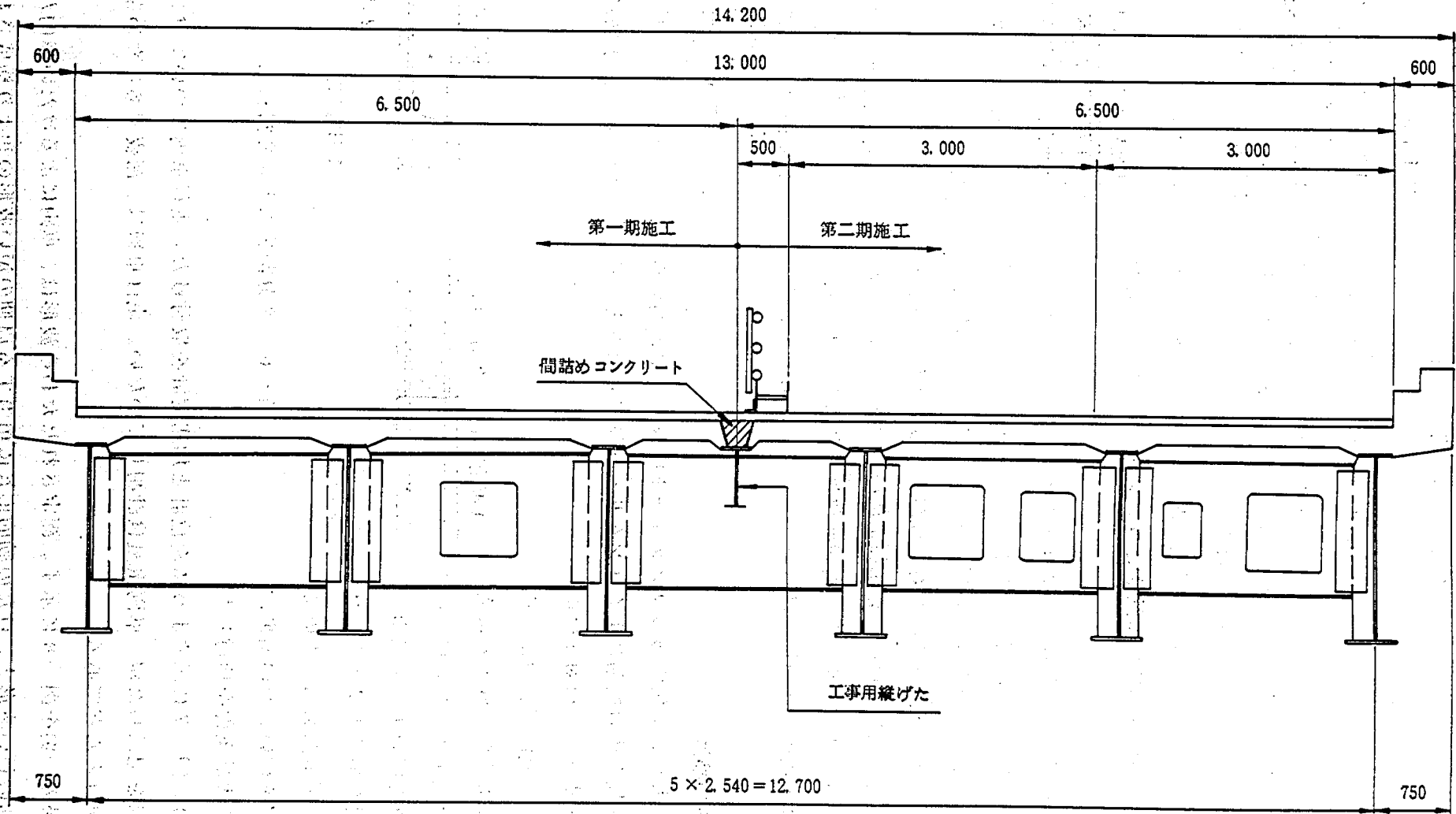


図 - 4 千住大橋分割施工部断面図

鋼格子床版では1本の継手筋を用いる方法と、2本の継手筋をカップラーで継ぐ方法の2種類の構造が考えられる。

(4) 打継ぎ部分の施工方法

打継ぎ部分の施工方法としては、1期施工部と2期施工部を直接結合する2分割方式と、1期施工部と2期施工部を若干離して独立に施工し、最後に間詰コンクリートを施工する3分割方式がある。(図-6参照)

2分割施工では、一般に2期施工部のコンクリートは、1期施工部と接続されている鉄筋とコンクリートの間で相対変位を受ける。

3分割施工では、鉄筋コンクリート床版の場合、2期施工部のコンクリート打設時には継手筋が1期施工部と接続されていないため、鉄筋とコンクリートの間の相対変位はなく、間詰コンクリート打設時に相対変位が生じる。I形鋼格子床版を3分割施工した場合、2期施工部のコンクリート打設時にも継手筋とコンクリートの相対変位は生じるが、2分割施工の場合と比べてその影響ははるかに小さいと考えられる。

3. 実験条件の検討

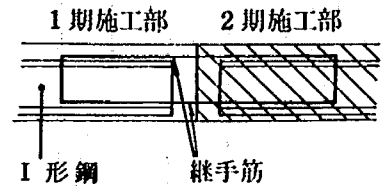
前述のとおり、千住大橋のコンクリート床版施工上の問題点として、床版全体の振動によるコンクリート強度の低下と、鉄筋とコンクリートの相対変位による付着強度の低下、およびそれに伴う床版強度の低下が考えられる。床版全体の振動については、現橋と床版工事施工中で大幅な差異があるとは考えられないので、工事開始前に実橋での振動測定を行い、その結果にもとづいて実験条件を検討した。

実橋では、図-7に示すように変位計と加速度計を取付けた。走行車両については、すべてその走行車線を記録したが、車両重量は計測していない。走行車線は、深夜であるため第1および第2車線がほとんどである。

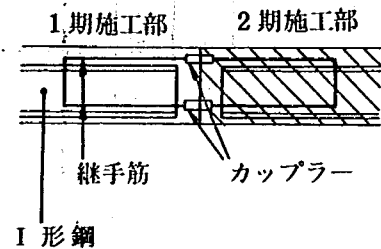
測定結果の一例を図-8に示す。測定されたたわみ波形は、車両によるけたの静的たわみに相当する周期の長い波形と、けたの動的応答に相当する周期の短い波形の和より構成される。これ

I形鋼格子床版

(1) 1本継手筋



(2) カップラー継手筋



鉄筋コンクリート床版
重ね継手

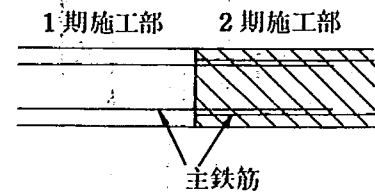


図-5 継手筋形状

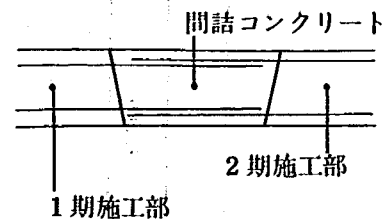


図-6 2分割施工と3分割施工

らをそれぞれ静たわみ、動たわみと呼ぶことにする。静たわみ、動たわみの分布をそれ表-1、表-2に示す静たわみは通常4 mm程度が最大であると考えてよく、周波数は0.1~0.25 Hzで生じる。これは、車両の走行速度25~60 km/hに相当する。一方、動たわみは最大2 mm程度生じ、表-3に示す周波数分析結果から2.2~3.4 Hzの周波数をもつ。共振曲線の一例を図-9に示す。一方、加速度の観測結果は表-4に示すとおりである。加速度は、最大でも100ガル程度であると想定される。

D;変位計
A;加速度計

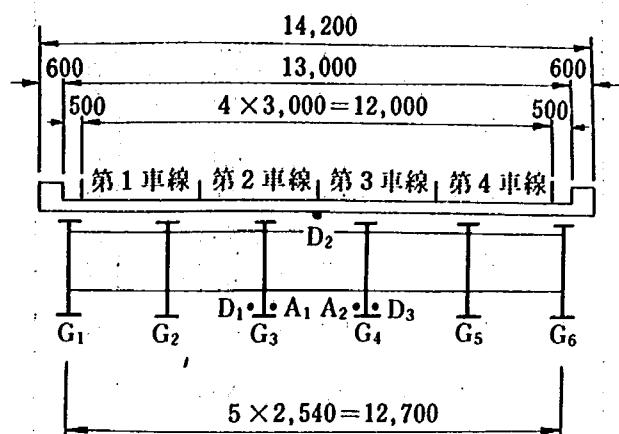


図-7 変位計および加速度計の取り付け位置

表-1 静たわみの分布 (観測回数/2時間)

変位計 走行車線 変位 (mm)	D ₁		D ₂		D ₃	
	第1車線	第2車線	第1車線	第2車線	第1車線	第2車線
≥ 0.5	0	0	2	3	4	2
0.6 ~ 1.0	7	11	18	8	27	10
1.1 ~ 1.3	17	2	14	2	7	4
1.4 ~ 1.6	8	5	7	7	12	4
1.7 ~ 1.9	8	3	0	1	14	4
2.0 ~ 2.2	5	5	8	5	8	6
2.3 ~ 2.5	7	1	12	4	1	1
2.6 ~ 2.8	12	5	2	1	0	1
2.9 ~ 3.1	6	1	0	1	1	1
3.2 ~ 3.4	3	0	1	1	1	0
3.5 ~ 3.7	2	1	0	0	0	0
3.8 ~ 4.0	0	0	0	0	0	0
4.1 ≥	0	2	1	2	0	2

表-2 動たわみの分布 (観測回数/2時間)

変位計 走行車線 変位 (mm)	D ₁		D ₂		D ₃	
	第1車線	第2車線	第1車線	第2車線	第1車線	第1車線
≤ 0.2	4	1	5	1	3	1
0.3 ~ 0.5	22	11	26	10	26	10
0.6 ~ 0.8	18	8	22	7	24	10
0.9 ~ 1.1	22	4	18	7	23	4
1.2 ~ 1.4	10	5	7	3	6	4
1.5 ~ 1.7	5	1	5	1	2	2
1.8 ~ 2.0	2	2	1	2	0	2
2.1 ~ 2.3	1	2	0	3	0	0
≥ 2.4	0	0	0	0	0	1

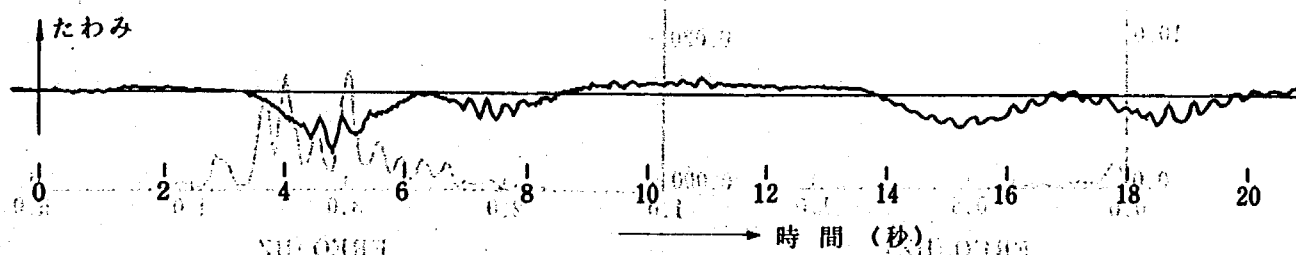


図-8 計測されたたわみ波形の例

表-3 動たわみ周波数分析結果

ケース No	周波数 (Hz)		車 両 位 置
	D ₁	D ₃	
1	2.53	2.70	{ No.1 × 4台 No.2 × 1台
2	3.28	3.30	{ No.1 × 2台 No.3 × 1台 No.4 × 1台
3	2.36	3.19	No.2 × 1台
4	2.21	2.25	{ No.1 × 1台 No.2 × 1台 No.4 × 1台
5	3.09	3.09	No.1 × 3台
6	3.01	3.23	No.1 × 1台
7	3.25	3.26	No.2 × 3台
8	3.26	3.26	No.1 × 3台
9	3.14	3.10	{ No.1 × 1台 No.4 × 2台
10	3.10	3.10	No.2 × 2台
11	3.10	3.10	{ No.1 × 3台 No.2 × 2台
12	2.98	2.77	No.4 × 1台
13	2.82	2.89	{ No.1 × 1台 No.2 × 2台
14	2.89	2.88	No.1 × 1台
15	2.63	2.63	No.1 × 1台

表-4 加速度の分布 (観測回数 / 2 時間)

加 速 度 (gal)	A ₁		A ₂	
	第1車線	第2車線	第1車線	第2車線
≥ 10	0	1	0	0
10 ~ 20	6	8	6	5
20 ~ 30	17	6	14	8
30 ~ 40	16	6	16	6
40 ~ 50	19	5	14	6
50 ~ 60	8	5	12	5
60 ~ 70	5	2	6	3
70 ~ 80	3	2	3	1
80 ~ 90	1	0	3	1
90 ~ 100	0	0	1	0

POWER.SP

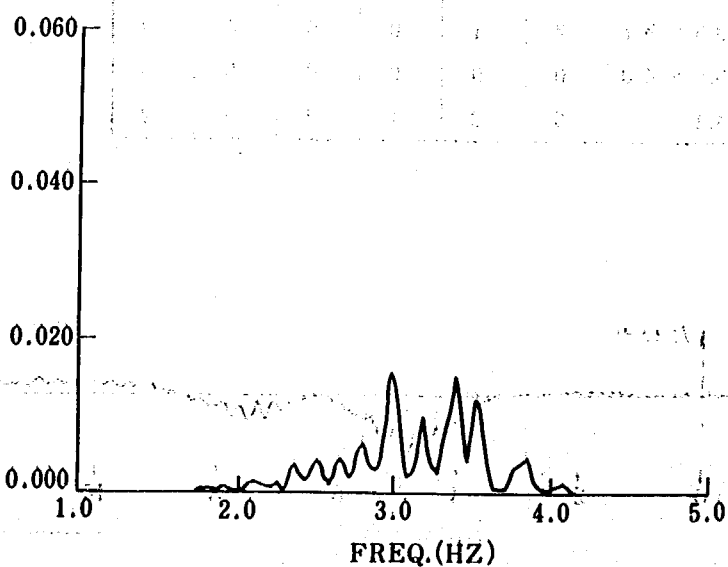
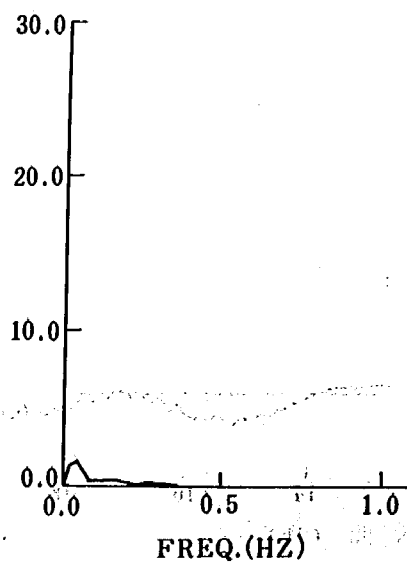


図-9 共振曲線の一例

コンクリート床版の全体的な振動がコンクリートの圧縮強度に影響を及ぼすとする、加速度の影響が最も大きいと思われる。したがって、コンクリート床版の全体的な振動に関する実験条件は、上記の結果にもとづき、基本的に100ガル、2.5 Hzを想定した。

次に、第1期工事と第2期工事の床版の相対変位については、現橋の構造系が施工中と異なるため、計測により検討することはできない。相対変位には、車両により生じる床版のたわみ、主げたや横げたの剛度、間隔など多くの要因が影響するため、本実験での実験条件は有限要素に分割した版と主げた、横げたを組合せたFEMモデルにより解析した。解析上の構造条件としては、第2期工事部の合成作用がない場合とある場合の2通りとした。荷重は、T-20を1期工事部に1～6台載荷することとした。各々の解析結果を図-10, 11に示す。今回の分割施工では、片持ち床版となる部分については、車両が通行しないように交通規制を行うことを原則としているが、最悪の場合を想定して、床版張出し部にも1～3台載荷して相対変位を算出した。その結果を図-12, 13に示す。

図-10, 11より、合成作用がない場合とある場合、すなわち、床版コンクリートが未硬化の状態からある程度硬化して、主げたと合成した状態までの相対変位の変化を見ると、最大値が0.19mmから0.16mmに変化するだけで大きな差は生じない。したがって、今回の実験においても時間経過による相対変位の変化は考慮しなかった。

さて、どのようにして算出した相対変位は、動たわみ分を考慮していないこと、また、モデル化、合成作用の取扱いなどに多くの仮定を含んでいる。さらに、実際に通行している車両には大幅な過積載が見られる。このため、安全側の仮定として、0.6mmの相対変位を基本的な実験条件と考えた。

また、床版張出し部に車両がのった場合の相対変位の最大値は、図-12に示される通り0.85mm程度となっている。そこで、特殊な場合として、1.0mmの実験条件を設定することとした。なお、今回のF.E.M解析で算出した相対変位は、第1期工事の床版と第2期工事の床版の打継目のコンクリートの摩擦あるいは、継手筋による拘束を考慮していない見かけ上の相対変位である。現実には、コンクリートの硬化による拘束によって上記の実験条件値はかなり減少すると考えられ、このことは実験中に考慮されている。

4. 実験に使用した材料

各実験の内容について述べる前に、実験に使用した材料の品質の概要を示す。

セメントは次の3種類を用い、その品質は表-5に示すとおりである。

普通セメント : 日立普通ポルトランドセメント

早強セメント : 小野田早強セメント

ジェットセメント : 小野田ジェットセメント

骨材については、粗骨材は碎石、細骨材は川砂を使用した。粒度分布、比重および粗粒率を図-14に示す。

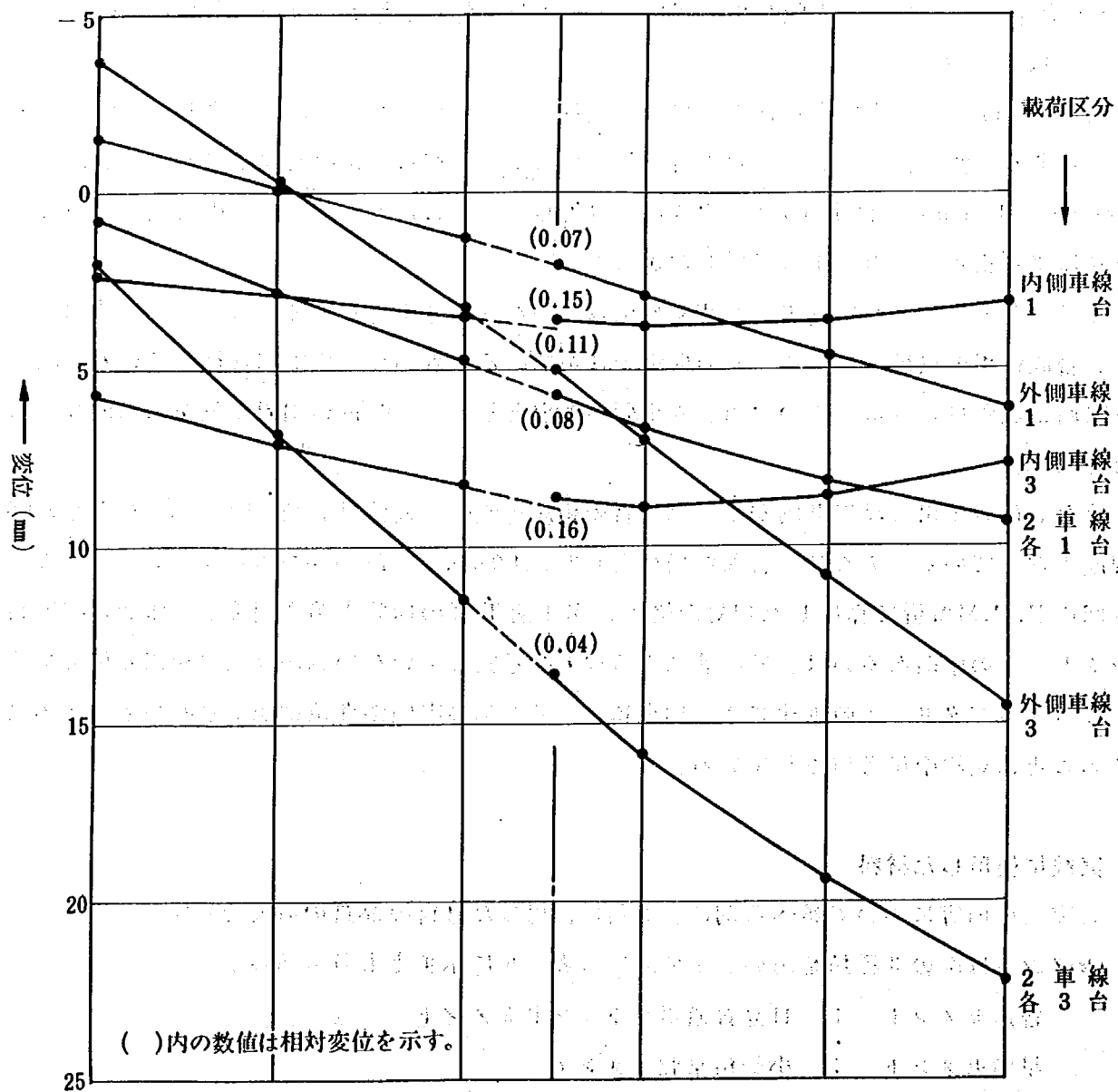
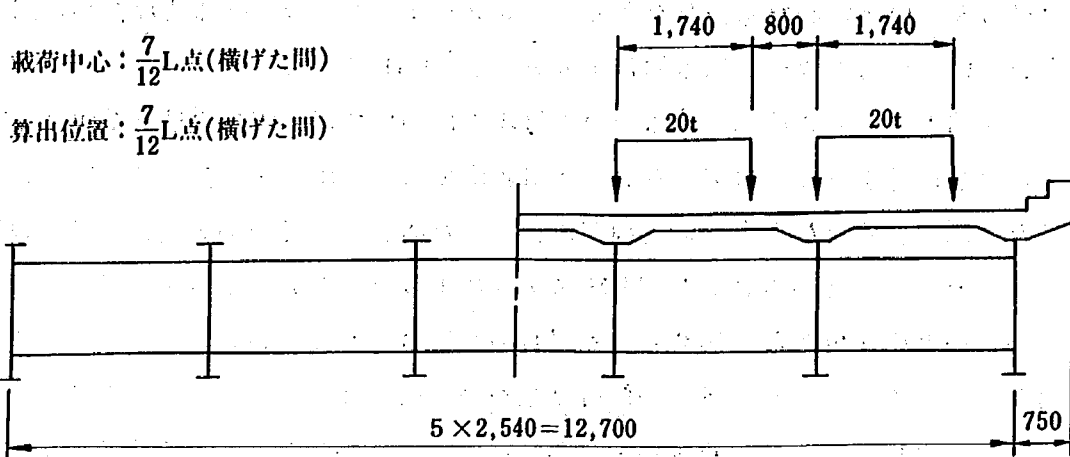


図-10 床版打継目相対変化算出図
 (第2期施工部床版について合成作用を考えない場合)

載荷中心： $\frac{7}{12}$ L点(横げた間)

算出位置： $\frac{7}{12}$ L点(横げた間)

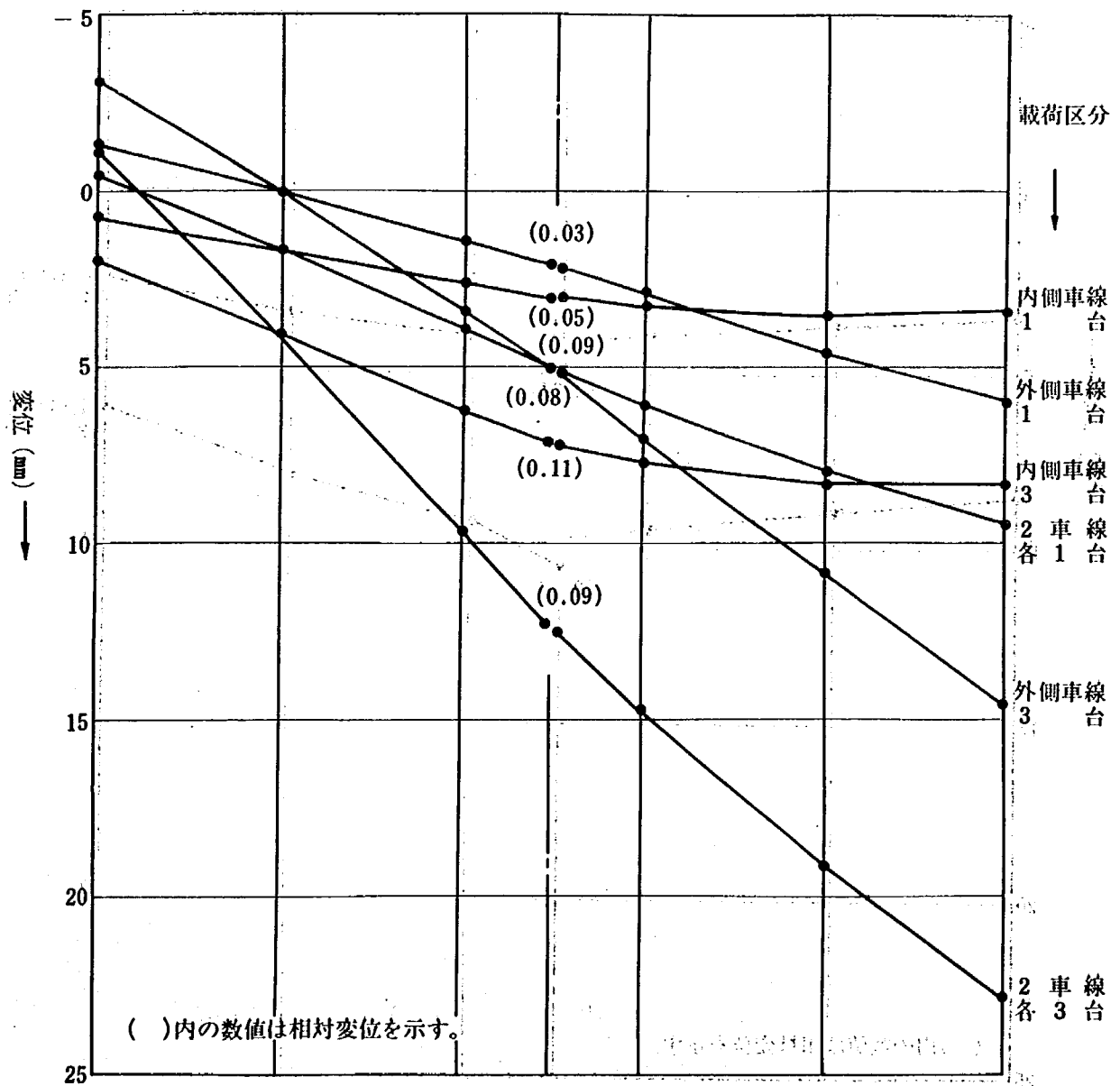
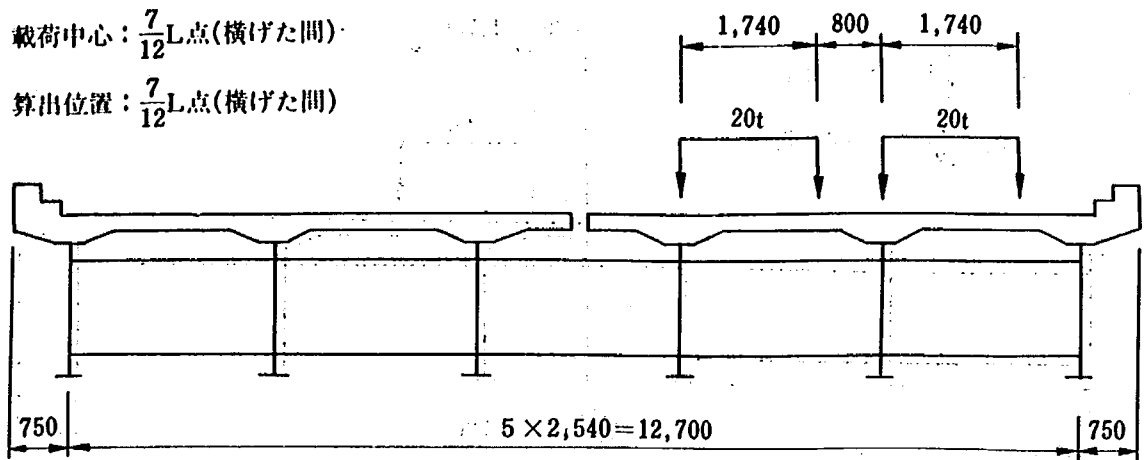


図 11-11 床版打継目相対変位算出図
(第2期施工部床版について合成作用を考えた場合)

載荷中心： $\frac{1}{2}L$ 点(横げた上)

算出位置： $\frac{5}{12}L$ 点(横げた間)

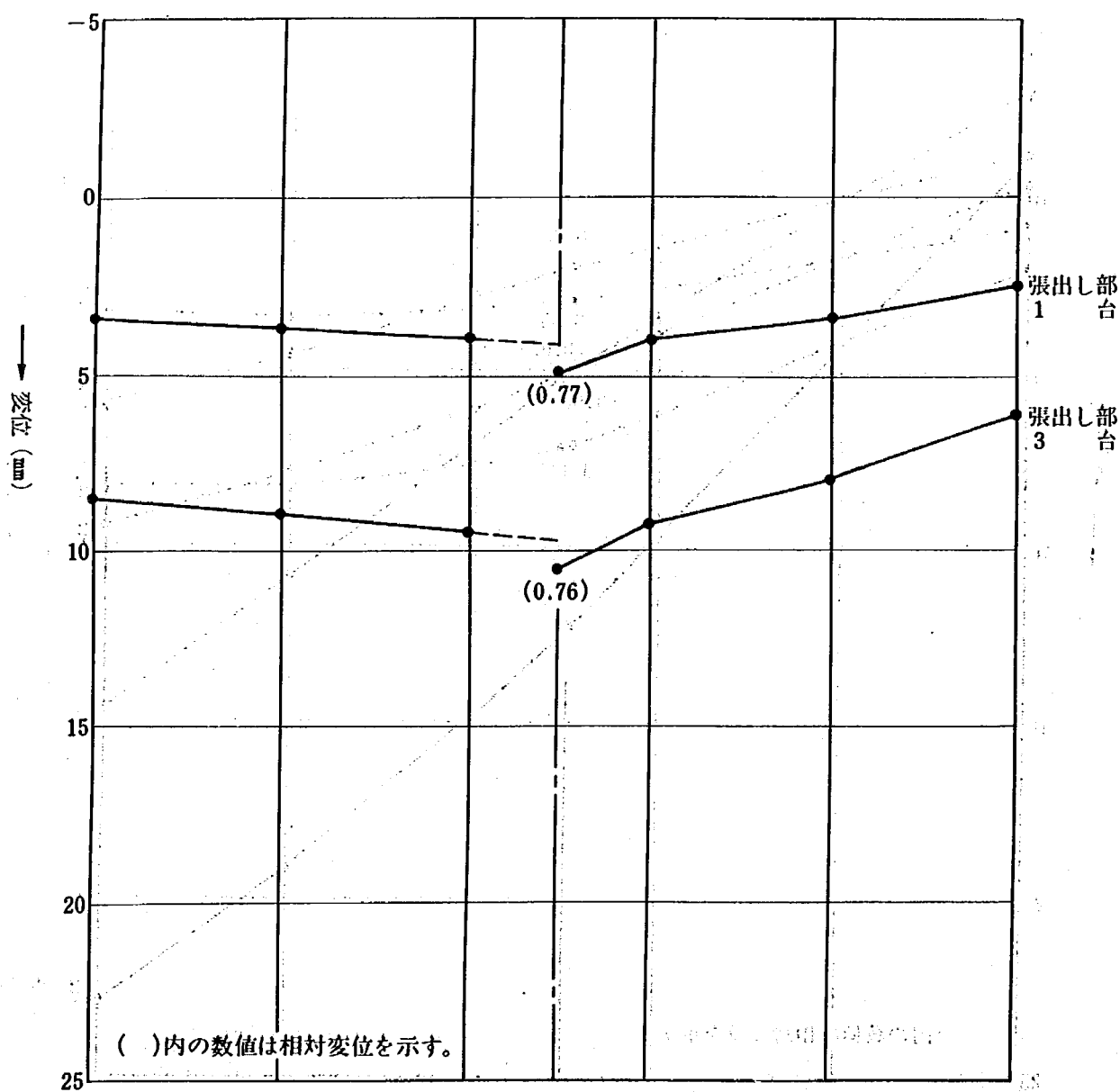
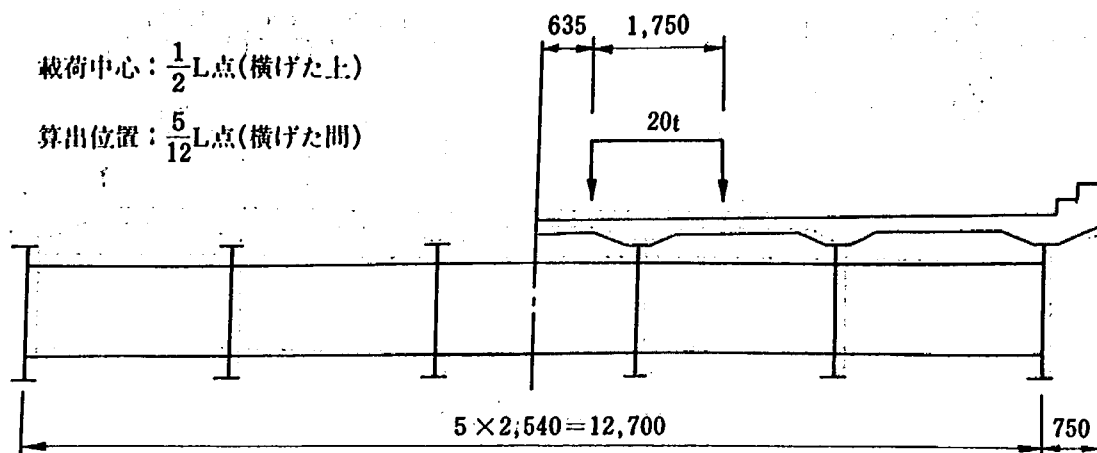


図 12 床版打継目相対変位算出図
(第2期施工部床版について合成作用を考慮しない場合)

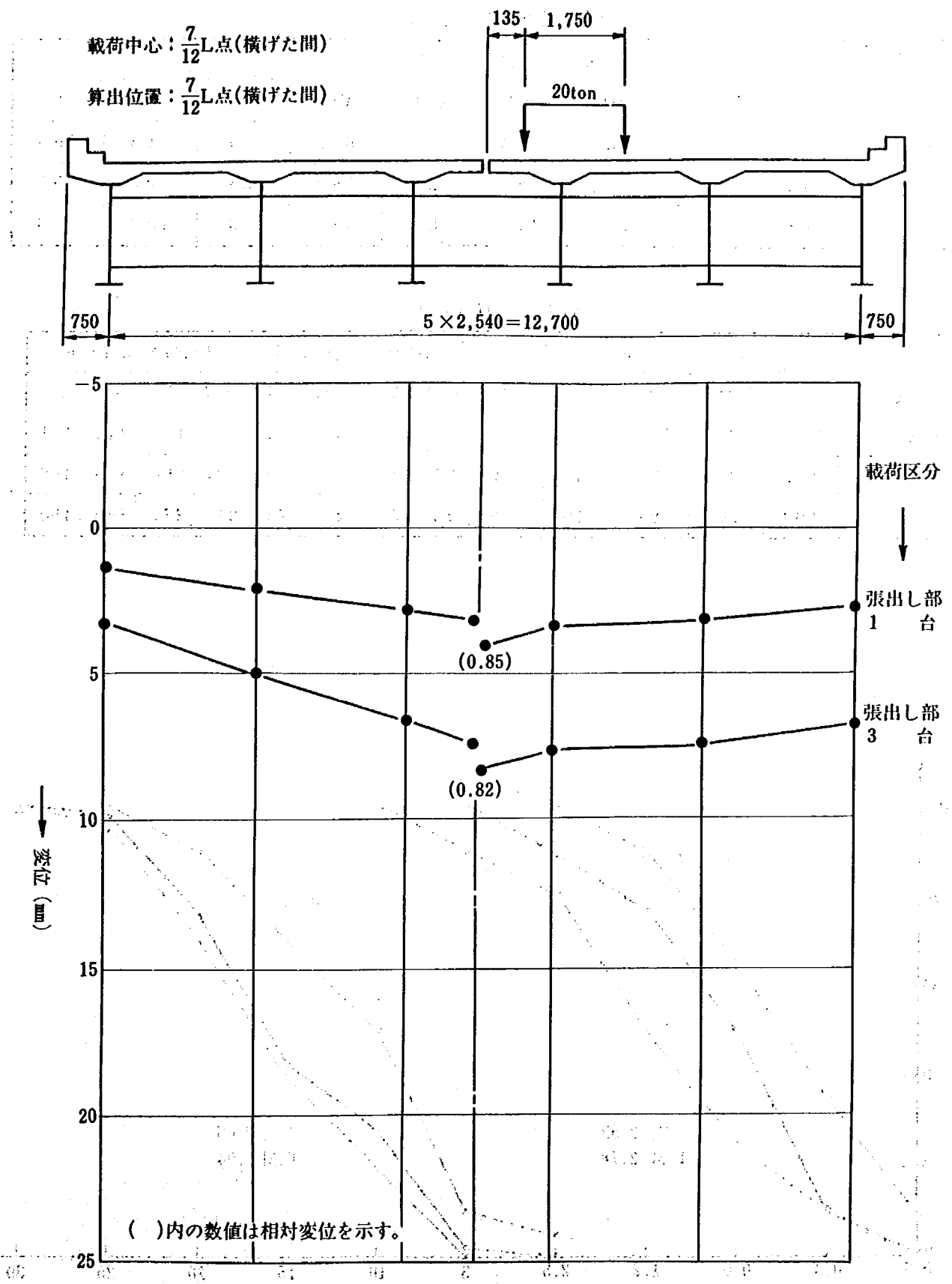


図-13 床版打継目相対変位算出図
 (第2期施工部床版について合成作用を考えた場合)

表-5 セメントの品質

(化学成分)

項目	化学成分 (%)								
セメント	強熱減量	不溶解残分	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	計
普通セメント	0.6	0.1	21.7	5.3	3.3	64.9	1.6	1.8	99.3
早強 "	1.0	0.1	20.8	5.0	2.8	65.9	1.4	2.8	99.8
ジェット "	0.6	0.1	13.8	11.4	1.5	59.1	0.9	10.2	97.6

(物理的性質)

項目 セメント	比重	粉末度 (cm ² /g)	凝 結			曲げ強さ (kgf/cm ²)				圧縮強さ (kgf/cm ²)			
			水量(%)	始発(分)	終結(分)	1日	3日	7日	28日	1日	3日	7日	28日
普通セメント	3.16	3,240	28.1	158	228	—	35	51	69	—	140	244	411
早強 "	3.12	4,260	29.7	145	210	35	54	65	79	127	250	355	466
ジェット "	3.04	5,630	28.0	10	15	32	36	57	75	217	271	360	460

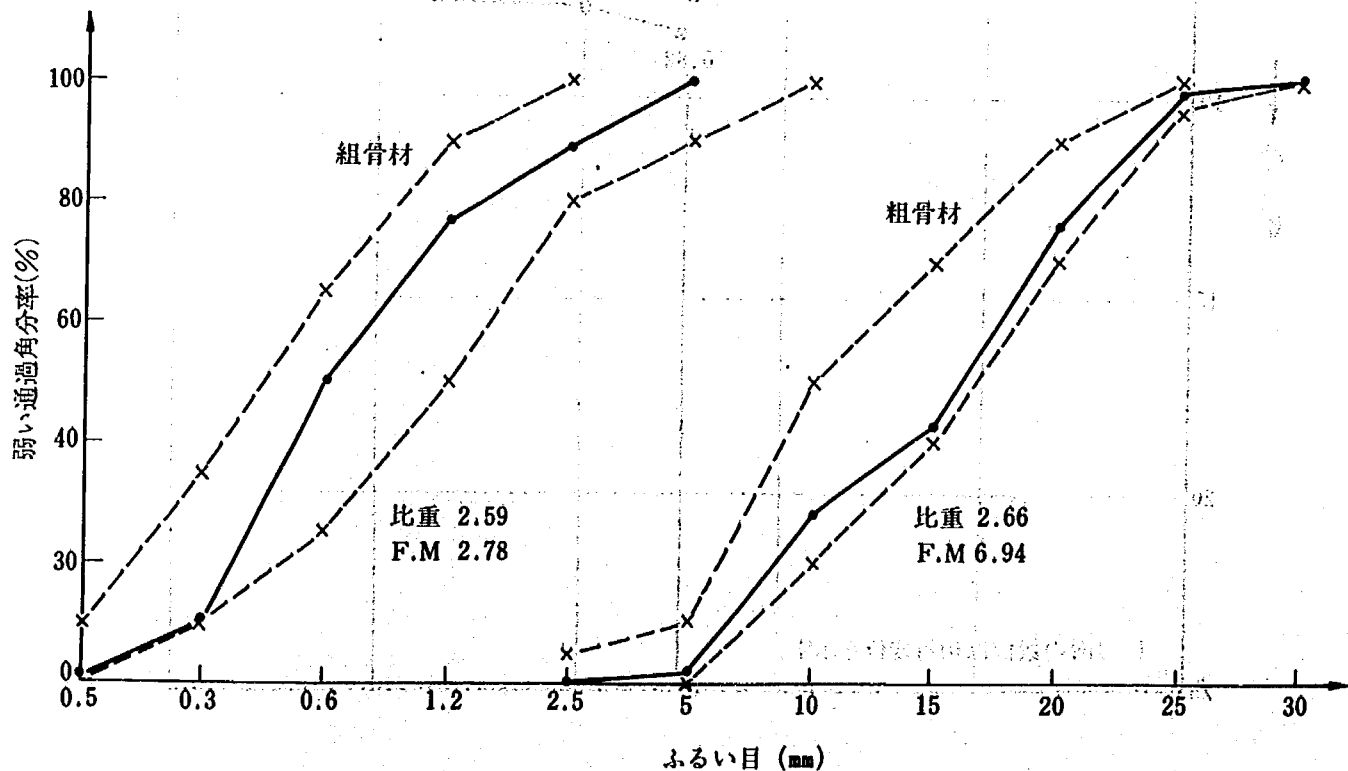


図-14 骨材粒度分布

I形鋼格子床版は、次のように構成されている。

I-ビーム ; 新日本製鉄 130×30×40mm, SS 41

ピッチ 220mm

配力筋 ; D16 上側ピッチ 200mm, 下側ピッチ 100mm

また、鉄筋の強度は次のとおりである。

D16 ; $\sigma_y = 3,776 \text{ kg/cm}^2$, $\sigma_B = 5,675 \text{ kg/cm}^2$

(最大径 16.8mm, 最小径 15.0mm, リブピッチ 10.2mm)

カップラー ; $\sigma_y = 3,622 \text{ kg/cm}^2$, $\sigma_B = 5,505 \text{ kg/cm}^2$

コンクリートの示方配合は表-6に示すとおりである。混和材はポゾリスNo 5 L, マイティおよびビンゾールを使用した。

表-6 コンクリートの示方配合

(普通, 早強セメント)

σ_{ck} (kg/cm ²)	粗骨材最大 寸法 (mm)	スランプ (cm)	空気量 (%)	水・セメント比 (%)	単位水量 (kg/m ³)	単位セメン ト量(kg/m ³)
300	25	6~11	4 ± 1	52	162	308

細骨材率 (%)	単位細骨材 量 (kg/m ³)	単位粗骨材 量 (kg/m ³)	混和剤 (g/m ³)	目標強度 (kg/cm ²)
44	810	1,030	924	310

(ジェットセメント)

σ_{ck} (kg/cm ²)	粗骨材最大 寸法 (mm)	スランプ (cm)	空気量 (%)	水・セメント比 (%)	単位水量 (kg/m ³)	単位セメン ト量(kg/m ³)
400/4時間	25	6~11	—	37	148	400

細骨材率 (%)	単位細骨材 量 (kg/m ³)	単位粗骨材 量 (kg/m ³)	混和剤			目標強度 (kg/cm ²)
			マイティ-	ビンゾール	セッター	
41	739	1,063	8.0 kg	120 cc	15℃ C×0.15% 20℃ C×0.25%	450/4時間

5. コンクリート圧縮強度への影響

5.1 実験の概要

前述のとおり、全体的な振動、特に加速度を受けながら硬化するコンクリートでは、セメントペーストと骨材が分離して、強度もしくは耐久性の劣るコンクリートができる可能性がある。この問題については、現在までにいくつかの研究が行われている^{1)~4)}。これらの研究の結論によ

れば、コンクリート硬化中の振動の影響は小さくなく、逆に締固め効果により強度が増加する場合がある。千住大橋の場合も、予想される100ガル程度の加速度によってコンクリートの品質が大幅に損われるとは考えにくい、セメントの品質、振動継続時間、打設から振動開始までの時間を変化させて、コンクリート強度への影響の確認実験を行った。

千住大橋の交通振動による加速度は100ガル程度と予想されるが、施工中の不完全な構造系を考慮して、表-7に示すように、さらに大きな加速度について確認実験を行った。表-7には、さらに振動継続時間、打設から振動開始までの時間について実験のケースを示している。

供試体は $\phi 10 \times 20$ cmの形状とし、各ケースごとに3体製作した。普通コンクリートおよび早強コンクリートについては、3日間現場湿潤養生とし、以降早強コンクリートは7日まで、また普通コンクリートは21日まで水中標準養生を行った。ジェットコンクリートについては9時間材令で載荷したため現場養生とした。載荷材令は、普通コンクリート21日、早強コンクリート7日、ジェットコンクリート9時間である。

5.2 若材令のコンクリートの圧縮強度

今回の実験の直接の目的ではないが、今回の実験では若材令のコンクリートの性質が問題となるので、若材令の各種コンクリートの圧縮強度試験を行った。結果を図-15に示す。

普通コンクリートと早強コンクリートは、ともに材令10時間程度まではほとんど圧縮強度発現は見られず、その後早強コンクリートと普通コンクリートの差異が見られる。一方、ジェットコンクリートは1～2時間で急激に強度が発現する。また、4時間で基準強度に達した後も、かなりの強度増加を示す傾向がある。

5.3 実験結果

実験結果の概要を図-16～図-20に示す。図-16および図-17に示すように、200ガル程度までの加速度によって、コンクリートの圧縮強度が大きく影響されることはない。なお、図中

表-7 コンクリート圧縮強度実験ケース

振動レベルとセメントの種類

○は実験の対象としたケースを示す

波 形	周波数 (Hz)	加速度 (gal)	セメントの種類		
			普 通	早 強	ジェット
正 弦 波	2.5	28	—	○	—
正 弦 波	10	201	—	○	—
台 形 波	2.5	407	○	○	○

振動継続時間の影響

(単位：時間)

セメント の 種 類	振 動 継 続 時 間						
普 通	0	3	6	12	24	48	72
早 強	0	2	4	8	12	24	48
ジェット	0	0.5	1	2	3	4	—

* 打設直後に振動開始

打設から振動開始までの時間の影響

(単位：時間)

セメント の 種 類	振 動 開 始 時 間					振 動 継 続 時 間
普 通	0	3	6	12	24	72
早 強	0	2	4	8	12	48
ジェット	0	—	—	—	—	4

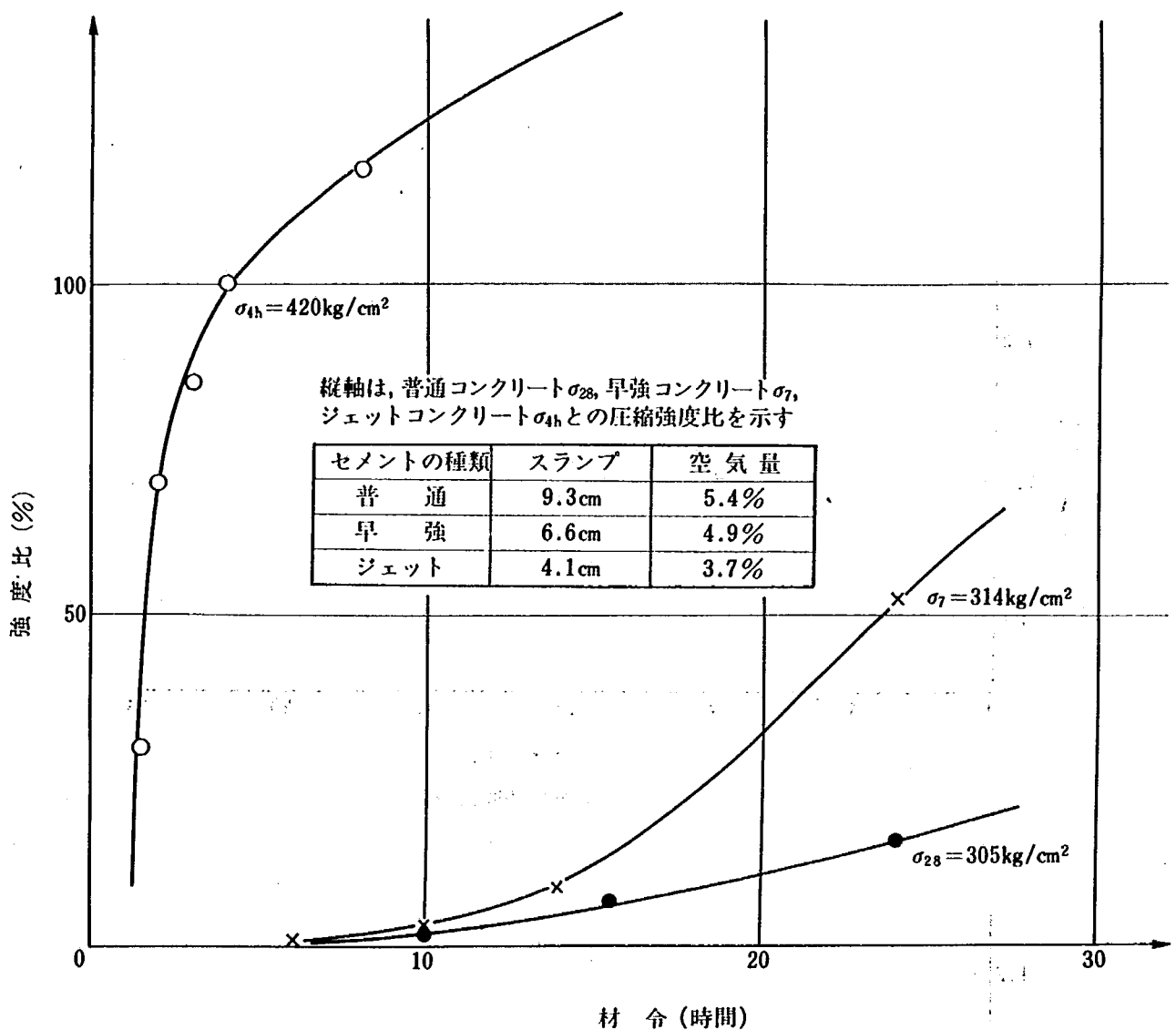
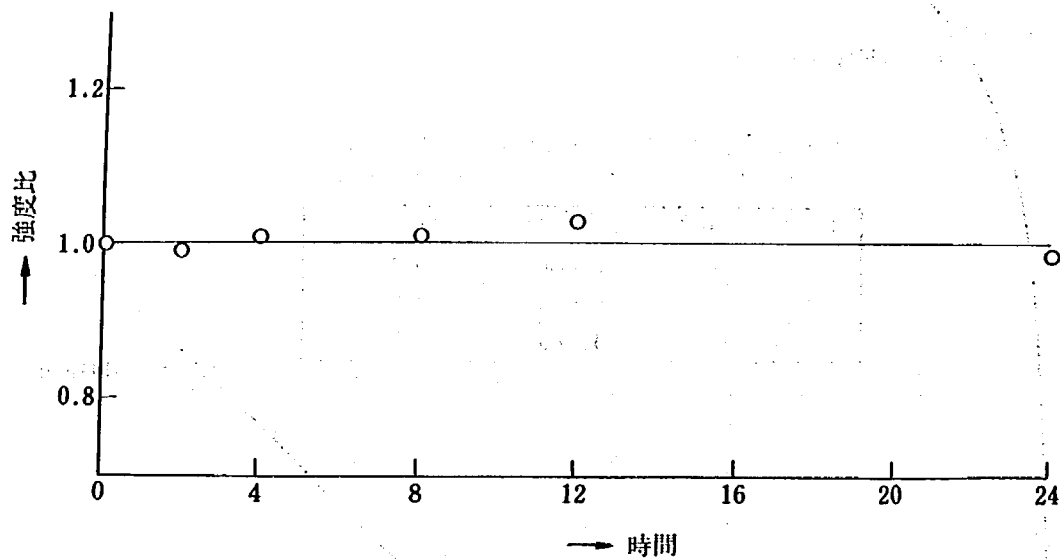


図-15 若材令のコンクリートの圧縮強度

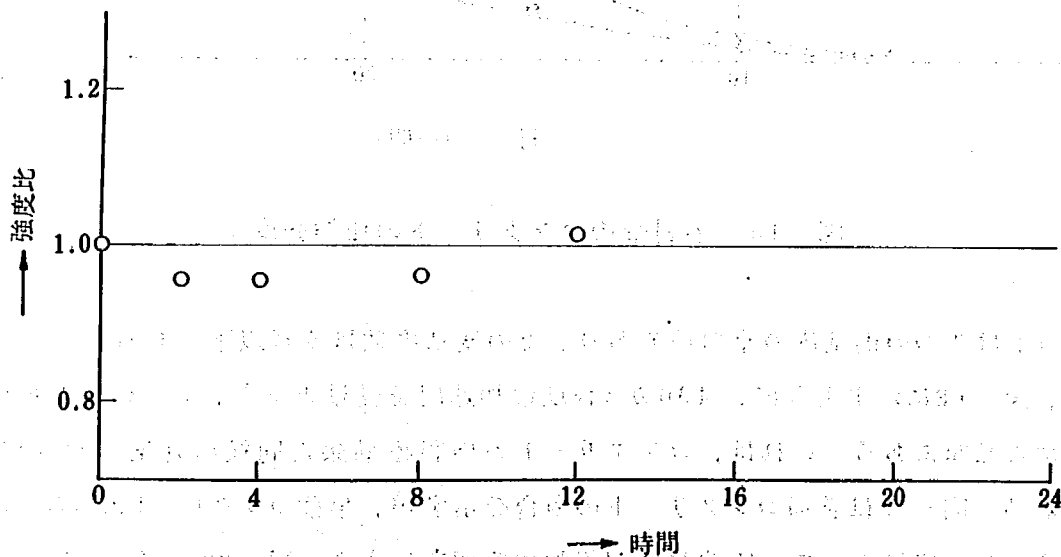
のプロットは3つの供試体の平均値であり、その変動係数は5%以下である。

一方、図-18に示すように、400ガル程度の加速度を受けると、コンクリートの圧縮強度は増加する傾向にある。これは、コンクリートの締固め効果と同様の効果が期待できるためと思われる。図-19は普通コンクリートの場合を示すが、早強コンクリートの場合と同じく400ガル程度の加速度によって、圧縮強度が増加する傾向にある。図-20はジェットコンクリートの場合であるが、ジェットコンクリートは硬化が早期に生じるため、加速度の影響はほとんど見られない。

以上述べたとおり、施工時の振動がコンクリート強度に与える影響は小さく、影響があっても安全側の影響であると考えられる。したがって、通常、床版施工時にこの問題を重大なものと考える必要はない。



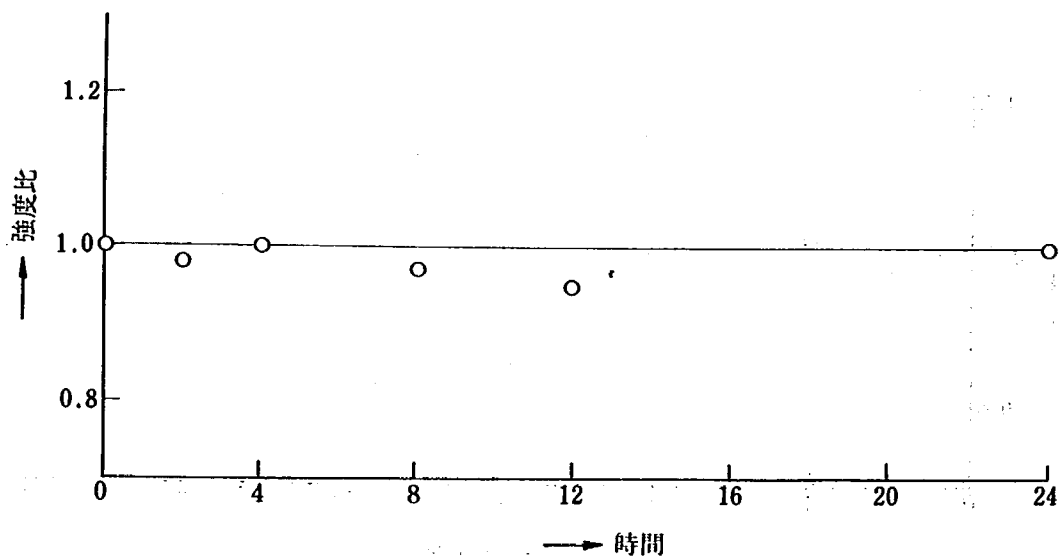
振動継続時間の影響



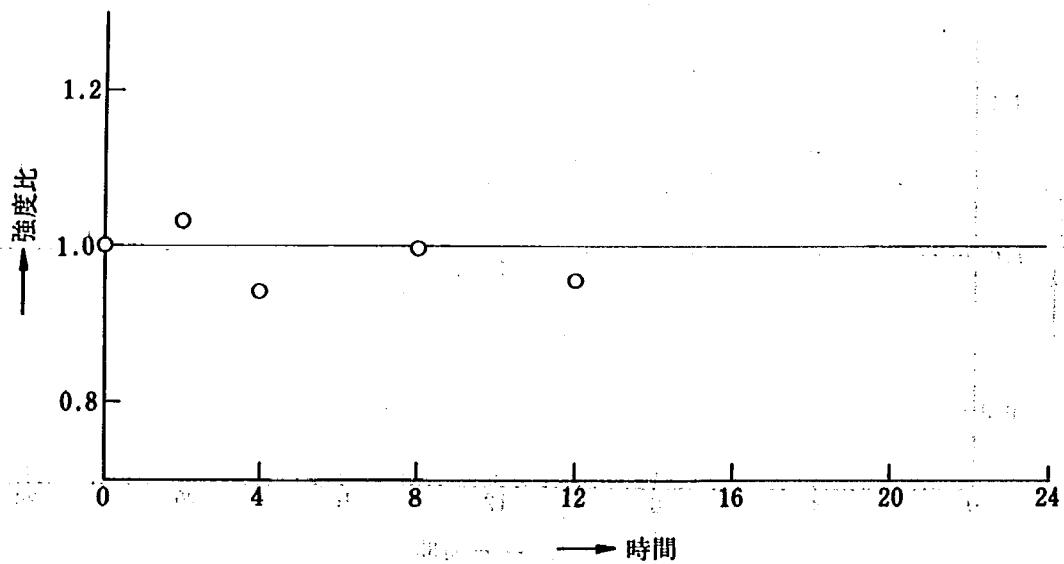
振動開始時間の影響

実験ケース：セメント＝早強，加速度＝27.7gal

図-16 コンクリート圧縮強度試験結果



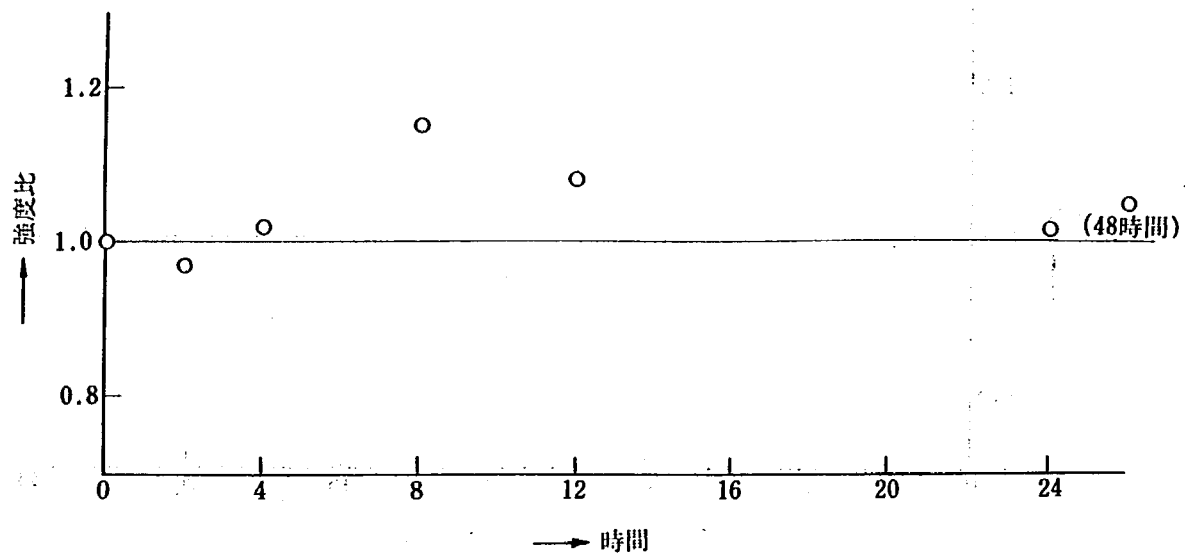
振動継続時間の影響



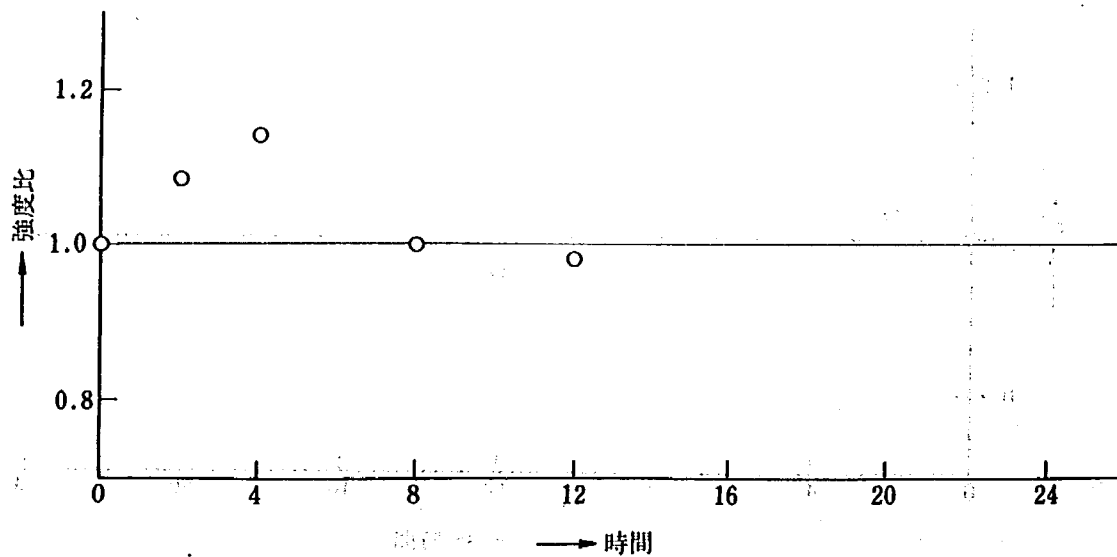
振動開始時間の影響

実験ケース：セメント＝早強、加速度＝201.4 gal

図-17 コシクリート圧縮強度試験結果



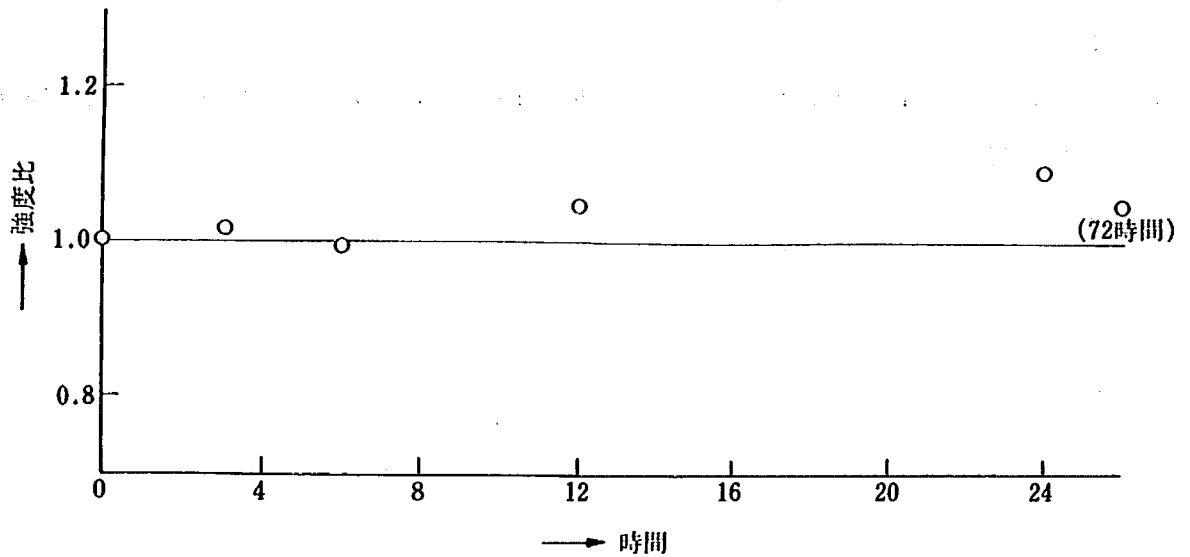
振動継続時間の影響



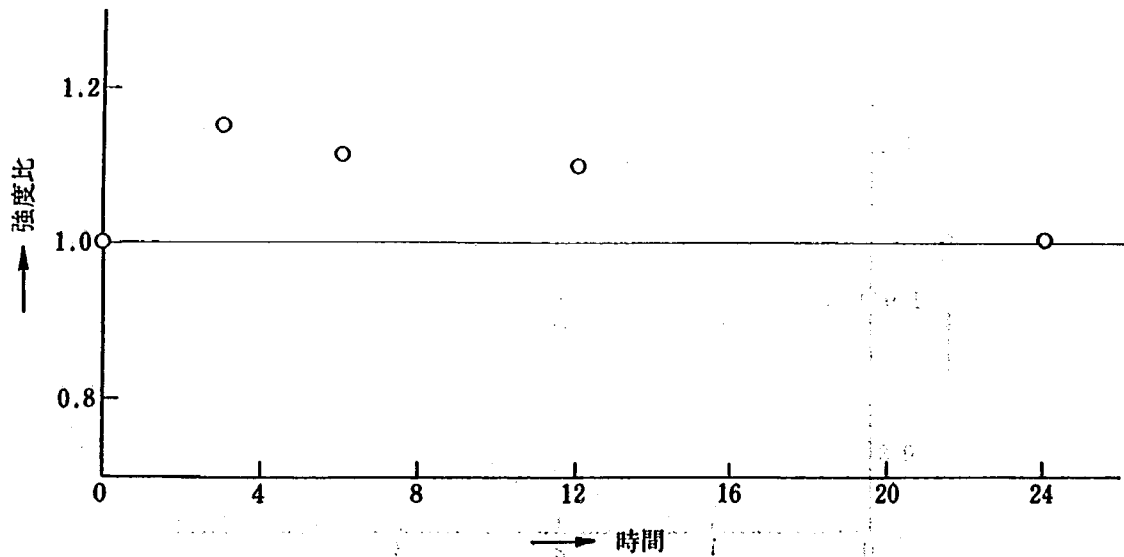
振動開始時間の影響

実験ケース：セメント＝早強，加速度＝406.5gal

図一18 早強コンクリート圧縮強度試験結果



振動継続時間の影響



振動開始時間の影響

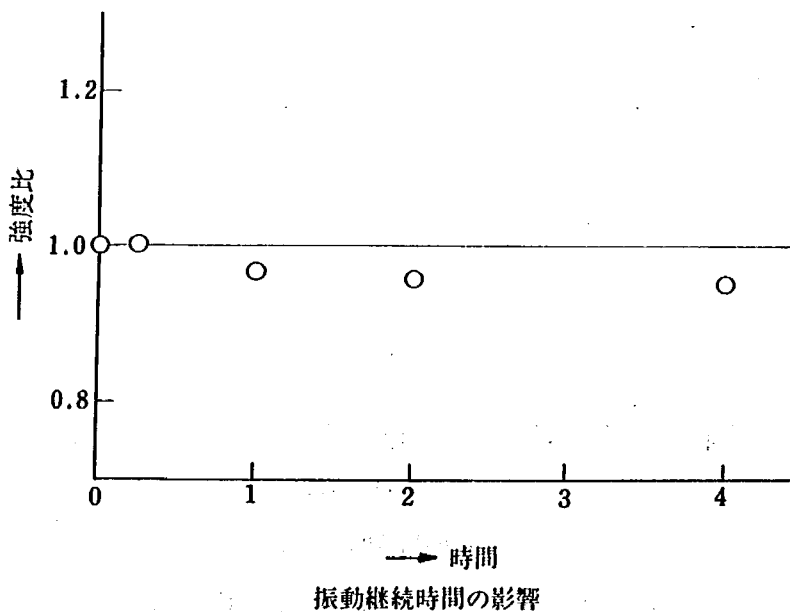
実験ケース：セメント＝普通，加速度＝406.5gal

図-19 コンクリート圧縮強度試験結果

加振および載荷の状態を写真-1, 写真-2に示す。

〈参考文献〉

- 1) 山下宣博他 「養生中に継続振動をうけるコンクリートの諸性質について」 セメントコンクリート No. 287
- 2) 谷藤正三他 「コンクリートの硬化中における振動の影響」 第3回日本道路会議論文集
- 3) 川島 力 「硬化まで振動を受けたコンクリートの強度性状」 コンクリート工学 1971年8月
- 4) 西村 昭他 「打設時振動によるコンクリート強度特性の変化について」 第26回年次学術講演会論文集, 土木学会



実験ケース: セメント=ジェット, 加速度=406.5gal

図-20 コンクリート圧縮強度試験結果

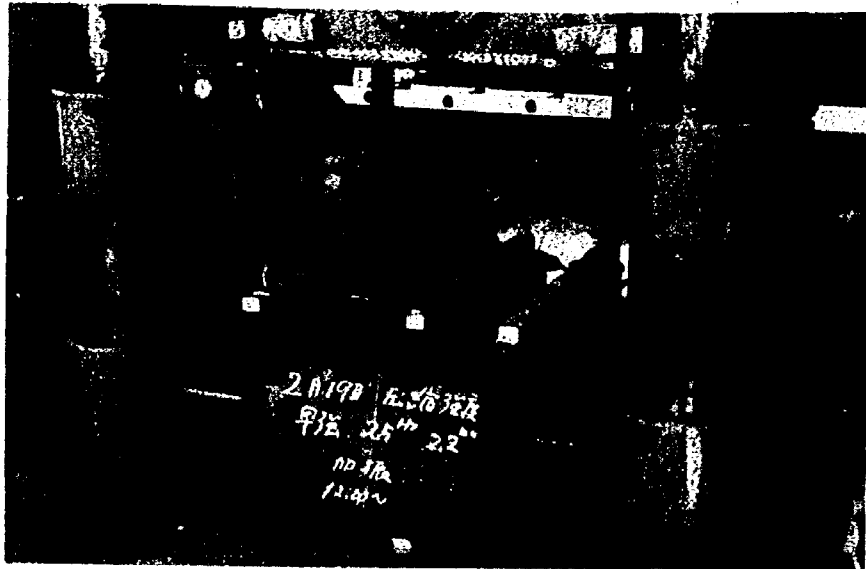


写真-1 コンクリート圧縮強度試験
供試体加振時の状態

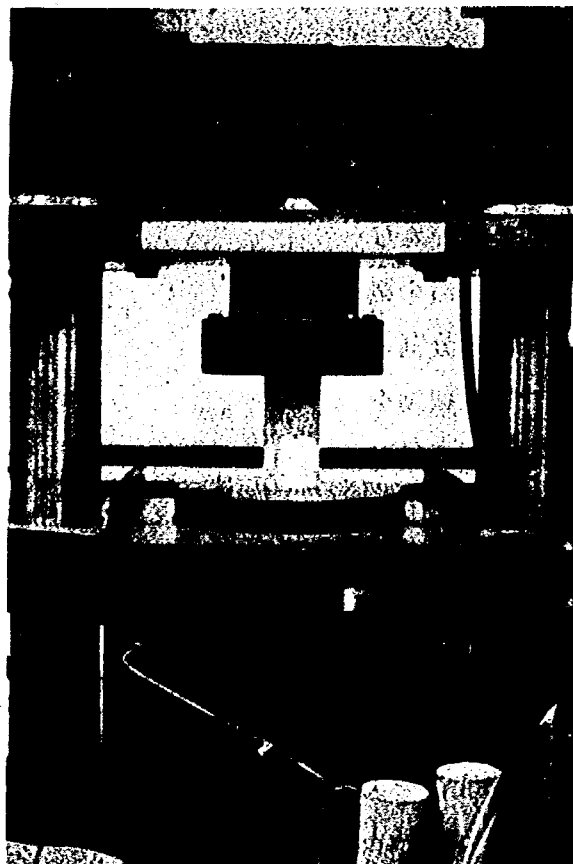


写真-2 コンクリート圧縮強度試験

6. 床版曲げ強度への影響

6.1 実験の概要

千住大橋の第2期工事の床版コンクリート施工中には、コンクリートと鉄筋の間に相対変位が生じ、コンクリートと鉄筋の間の付着強度が低下する恐れがある。ここでは、付着強度の低下が床版の曲げ強度の低下やひびわれ発生をもたらすと考えて、実物大の供試体を用いて床版曲げ試験を行った。実験ケースを表-8に、また対応する打継目の構造を図-21に示す。

供試体の形状は図-22に示すとおりであり、各ケースについて2体ずつ製作して実験を行った。I形鋼格子床版供試体については、I-ビームの不連続部と連続部の差が問題となることも考えられたので、2体のうち1体は図-22に示すように側径間にもI-ビームの不連続部を設けて対比を行った。

2分割施工の供試体については、第2期工事部分は後述する載荷装置によって振動を与えながらコンクリートを打設した。I形鋼格子床版3分割の供試体は、第2期工事部分を振動を与えながらコンクリート打設し、さらに、振動を与えながらジェットコンクリートで間詰部を施工した。鉄筋コンクリート床版3分割の供試体は、間詰め部分の施工のみ振動を与えながら施工した。これらの施工は、いずれも実際の施工状態を想定したものである。加振時間は、いずれも24時間とした。

床版曲げ試験における実験条件は相対変位量であるから、基本的には第1期工事部分と第2期工事部分の相対変位を実際の施工時と同等に再現できればよいと考えられる。これには、まず、千住大橋の現橋の鋼げたと同じけたを用い、自動

表-8 床版曲げ強度実験ケース

周波数(Hz)	2.5	0.25		
継目相対変位(mm)	0.2	1.0	0.6	1.0
継手筋長(mm)	1,200	1,200	1,200	1,450
I形鋼格子床版	2分割施工	○	○	○
	3分割施工	—	○ ^{注1}	○ ^{注1}
鉄筋コンクリート床版	2分割施工	—	○	—
	3分割施工	—	○ ^{注2}	—

注1 鉄筋の継手型式は、カプラー継手

注2 早強およびジェットコンクリートの2種類について行う。他のケースについては、すべて早強コンクリート

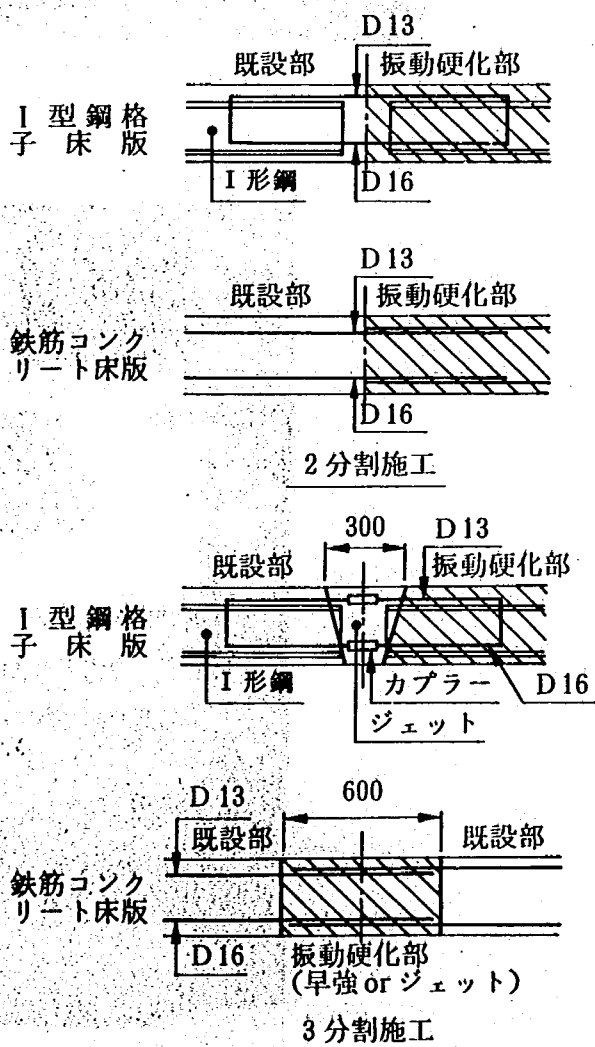
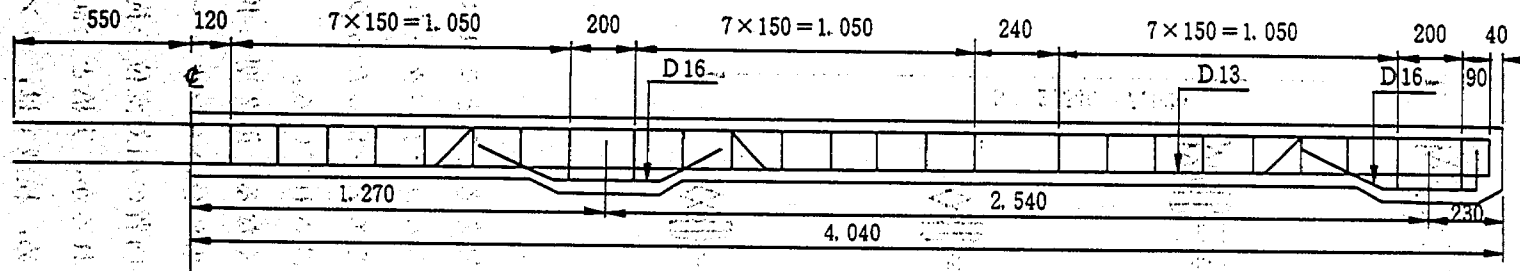
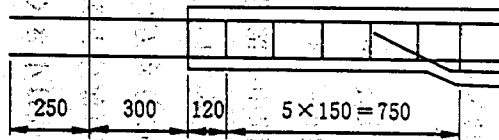


図-21 打継ぎ部の構造

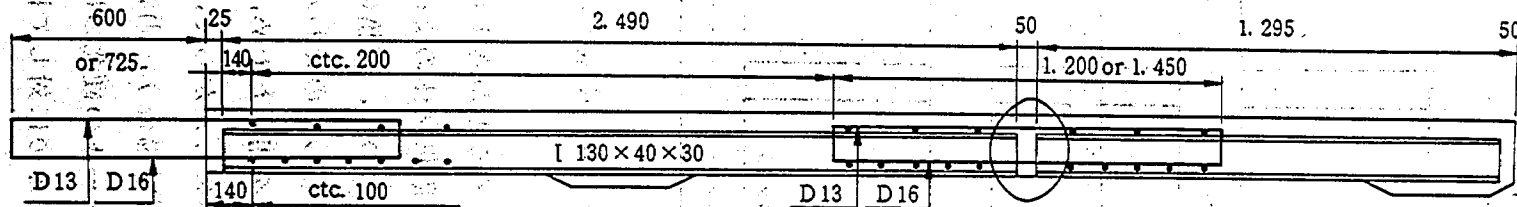
鉄筋コンクリート床版 2 分割施工用



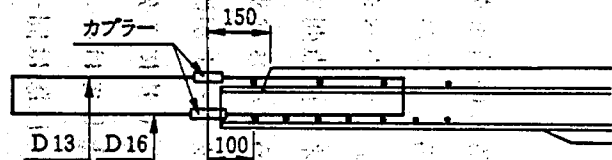
鉄筋コンクリート床版 3 分割施工用



I 形鋼格子床版 2 分割施工用



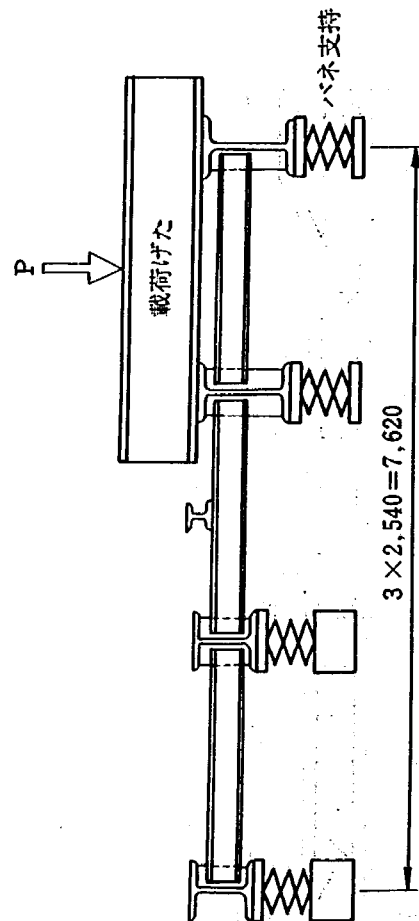
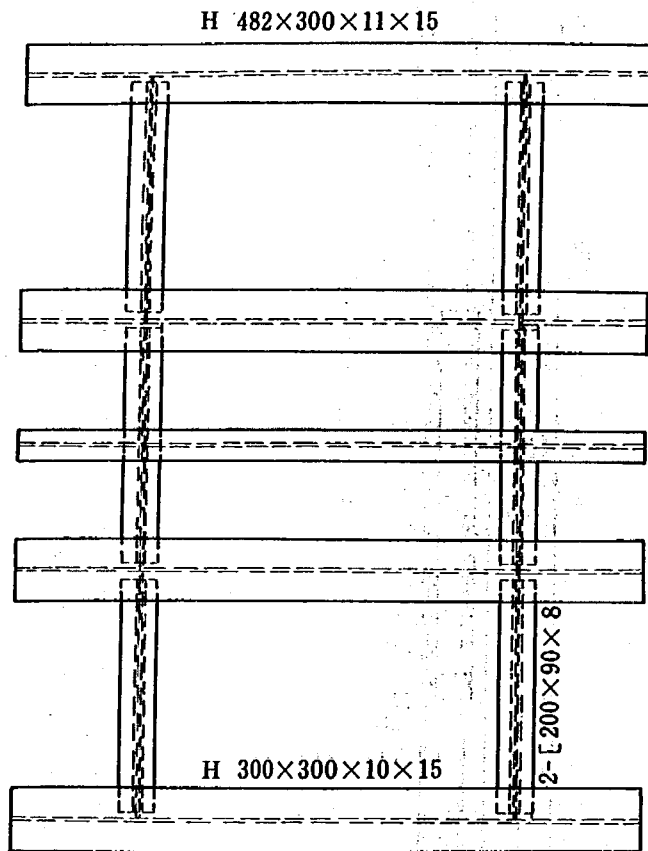
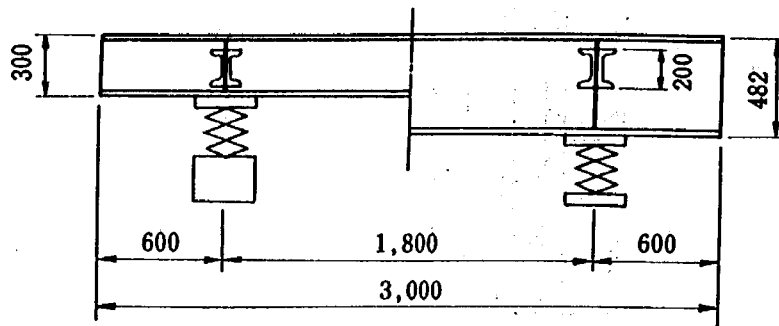
I 形鋼格子床版 3 分割施工用



注：2 体に 1 体のみ継手を設ける

注：図示の供試体は全体の 1/2 で第 1 期工事部に相当する。第 2 期工事部の形状は図示のものと同じであるが、RC 2 分割施工の場合は鉄筋の重ねの関係で軸方向筋長が 550 mm 短くなる。

図-22 床版供試体形状



図－23 床版曲げ試験用振動架台

車重量に等しい荷重を載荷することが考えられるが、試験機のスペース等を考えるとこれは不可能である。したがって、床版供試体の支持けたは、図－23に示すようなコンクパクトな構造とした。けたをバネ支持したのは、実橋のけたの支間中央部附近のみをモデル化したものであり、バネ支持点間ではけたとしてのたわみはきわめて小さいように設計されている。

このような小さな支持けたを用いたため、実験条件の与え方は難かしくなる。第2期工事部分のコンクリートが硬化するにしたがって、第1期工事部分と第2期工事部分のコンクリートは1体化し（特に2分割施工の場合）、両者の相対変位は小さくなる。両者の相対変位を拘束する原因としては、コンクリートの硬化のほかに横けたの存在が考えられるが、実橋と上記の模型では、床版は同一大であるのに対して横けたの剛度は大幅に異なるため、模型では、コンク

リート硬化の影響が大きく出すぎ、相対変位が初期の段階で過小になってしまう恐れがある。この問題については、本実験では次のように考えている。実橋では、床版剛度に比べて横げた剛度が十分大きいため、主げた間の相対変位が床版コンクリートの硬化に影響されることはないと考えてよい。したがって、実験においても、支持げた間の相対変位が初期変位と等しいように载荷をつづける。実験に用いた模型では、コンクリートの硬化の影響が大きいため、コンクリートの硬化にともなって载荷する荷重を大きくしないと、支持げた間の相対変位を一定に保つことはできない。

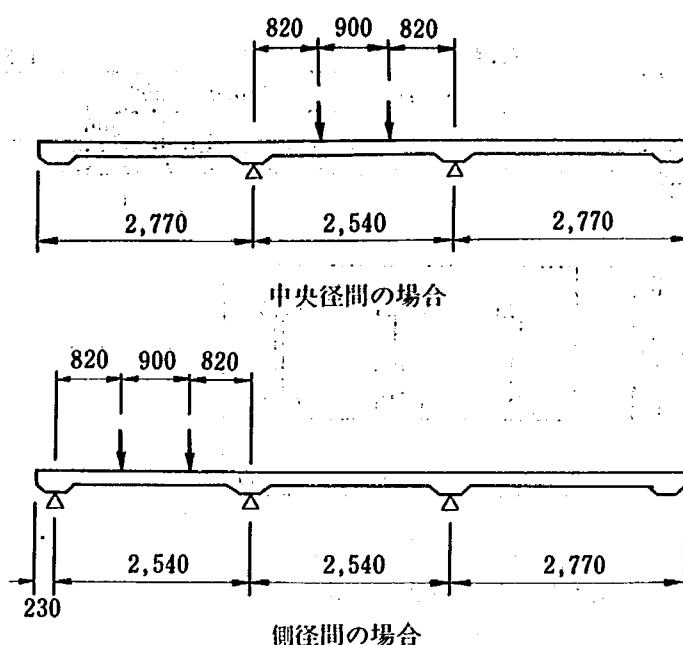


図-24 床版供試体载荷方法

载荷材令は14日以上とした。载荷方法は、図-24に示すように、打継ぎ部分を有する中央径間については側径間を張出した状態で2点载荷を行い、側径間については側径間と中央径間を2径間連続げたとした状態で2点载荷を行った。

载荷時には、変位およびひずみの計測を行った。変位については、床版の支点（けたのたわみ）、および床版支間中央について行った。ひずみは、I形鋼、継手筋およびコンクリートについて、それぞれ図-25に示す位置に貼付した。

6.2 実験結果

相対変位の設定値は、床版コンクリート打設前の、コンクリートによる相対変位の拘束がない場合について該当するものであって、コンクリートの打設およびコンクリートの硬化による拘束により、相対変位は減少することが予想される。図-26～図-28は、実験におけるコンクリート打設およびコンクリート硬化による相対変位の変動を示したものである。図中の設定値とは、けたの相対変位より計算で算出した床版の相対変位であり、コンクリート打設前では実測値と設定値は一致していた。一方、コンクリート打設後は継手筋がコンクリートにより拘束されるために、打継ぎ部でせん断力の伝達が行われ、実測される相対変位は大きく減少する。I形鋼格子床版の場合、設定値0.6mmに対しては0.1mm程度の実測値、設定値1.0mmに対しては0.3mm程度の実測値が得られた。鉄筋コンクリート床版では、コンクリートが硬化する以前の剛度がI形鋼格子床版に比べて小さく、せん断力に対する変形が大きいため、実測の相対変位はさらに小さくなっている。

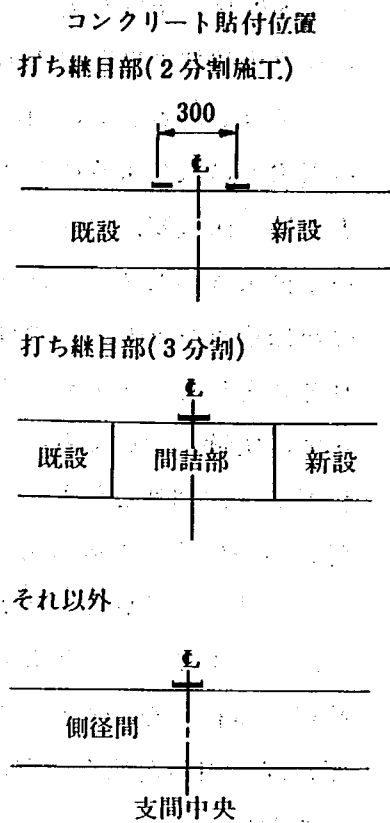
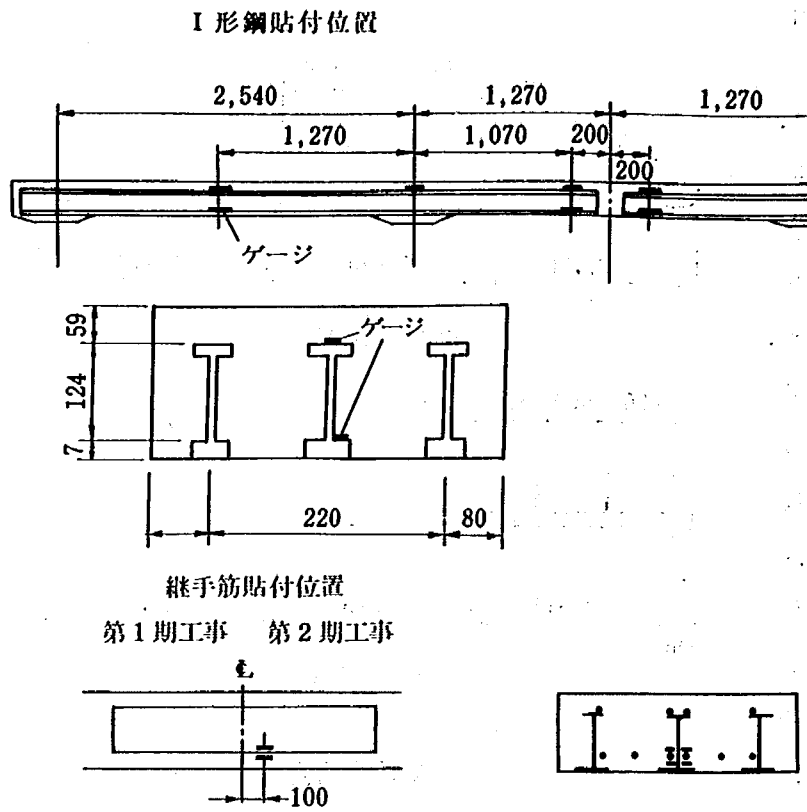


図-25 ゲージ貼付位置

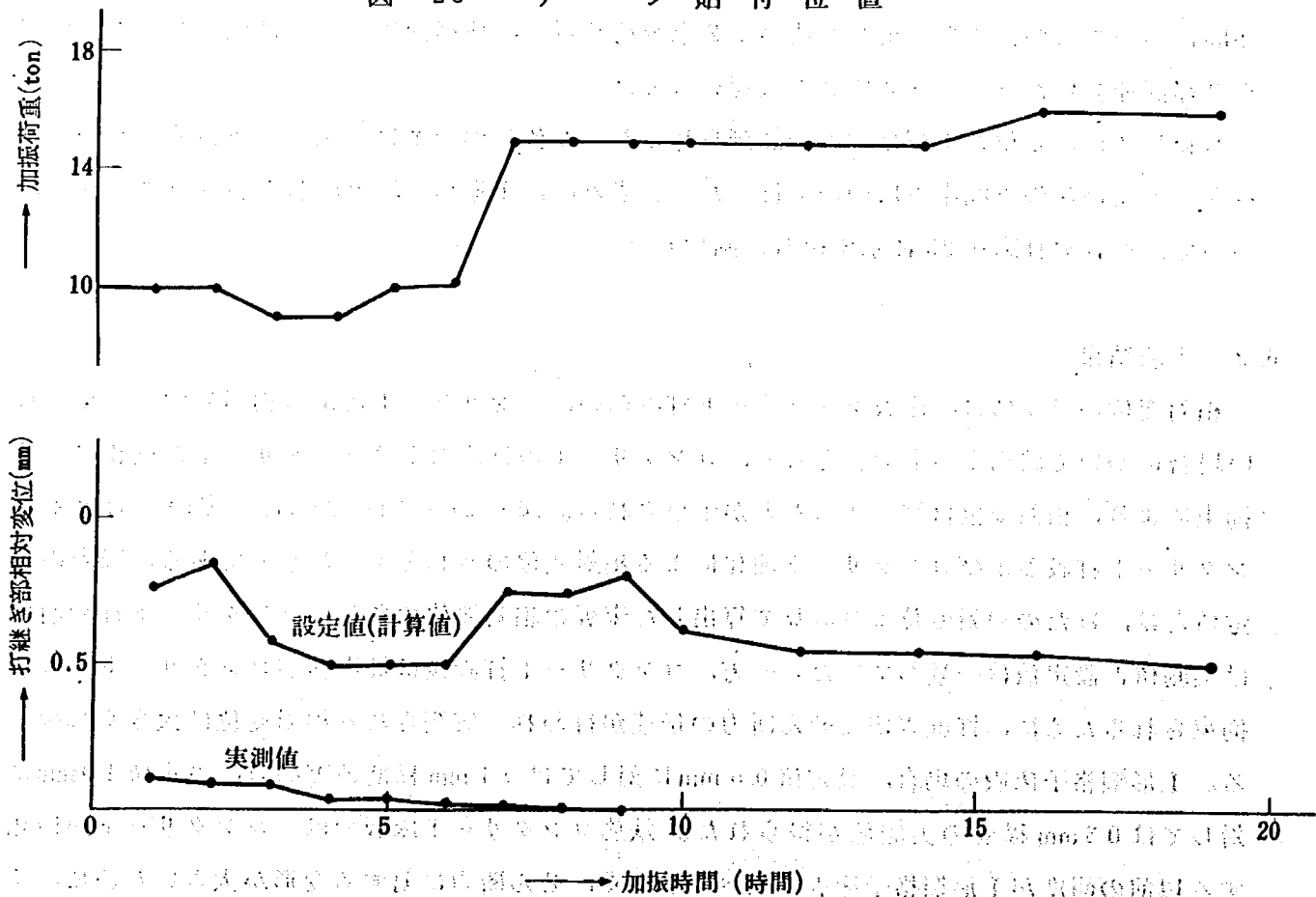


図-26 打継ぎ部相対変位 (I 形鋼格子床版・2 分割施工, 設定相対変位 0.6 mm)

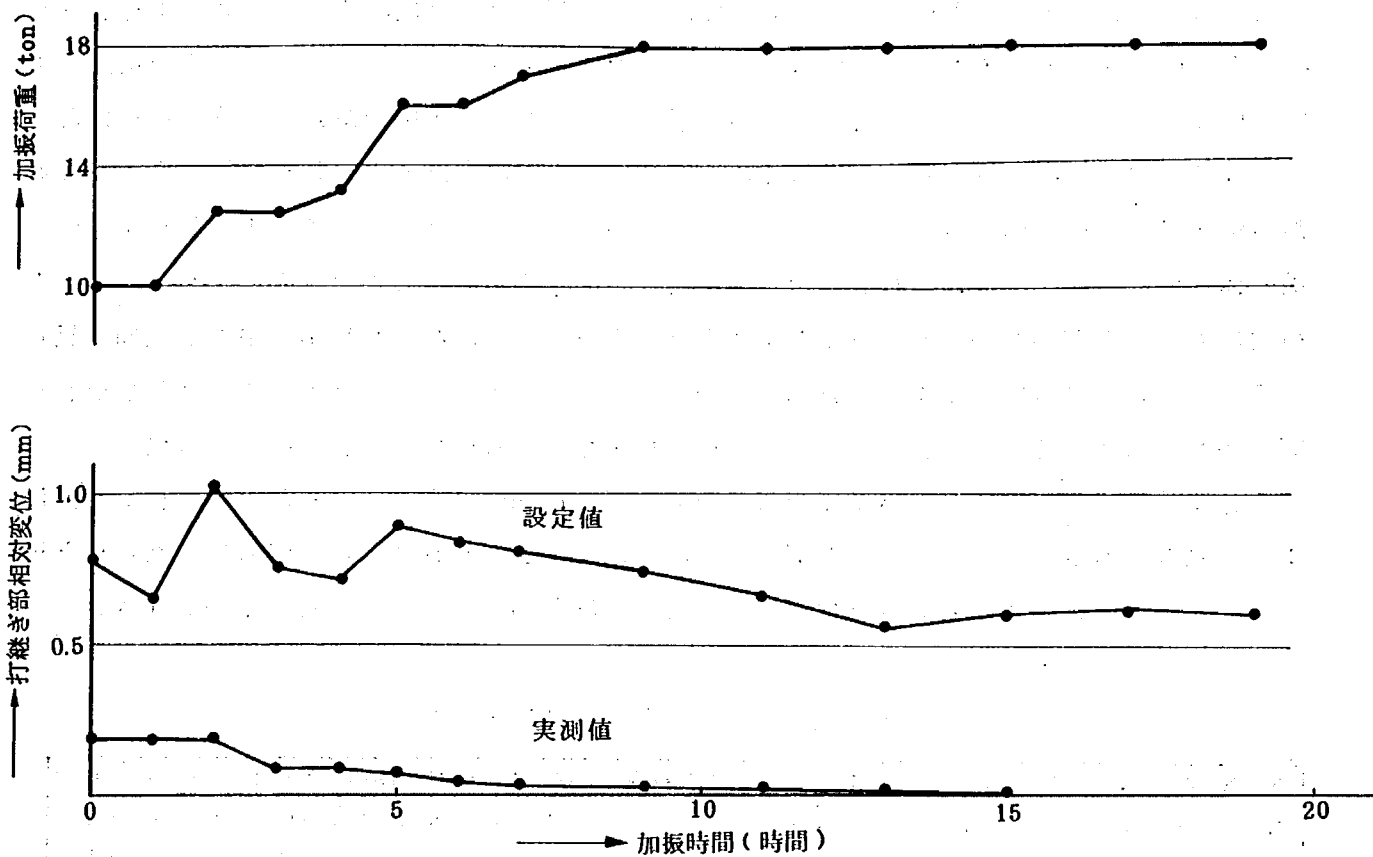


図-27 打継ぎ部相対変位 (I形鋼格子床版・2分割施工, 設定相対変位 1.0 mm)

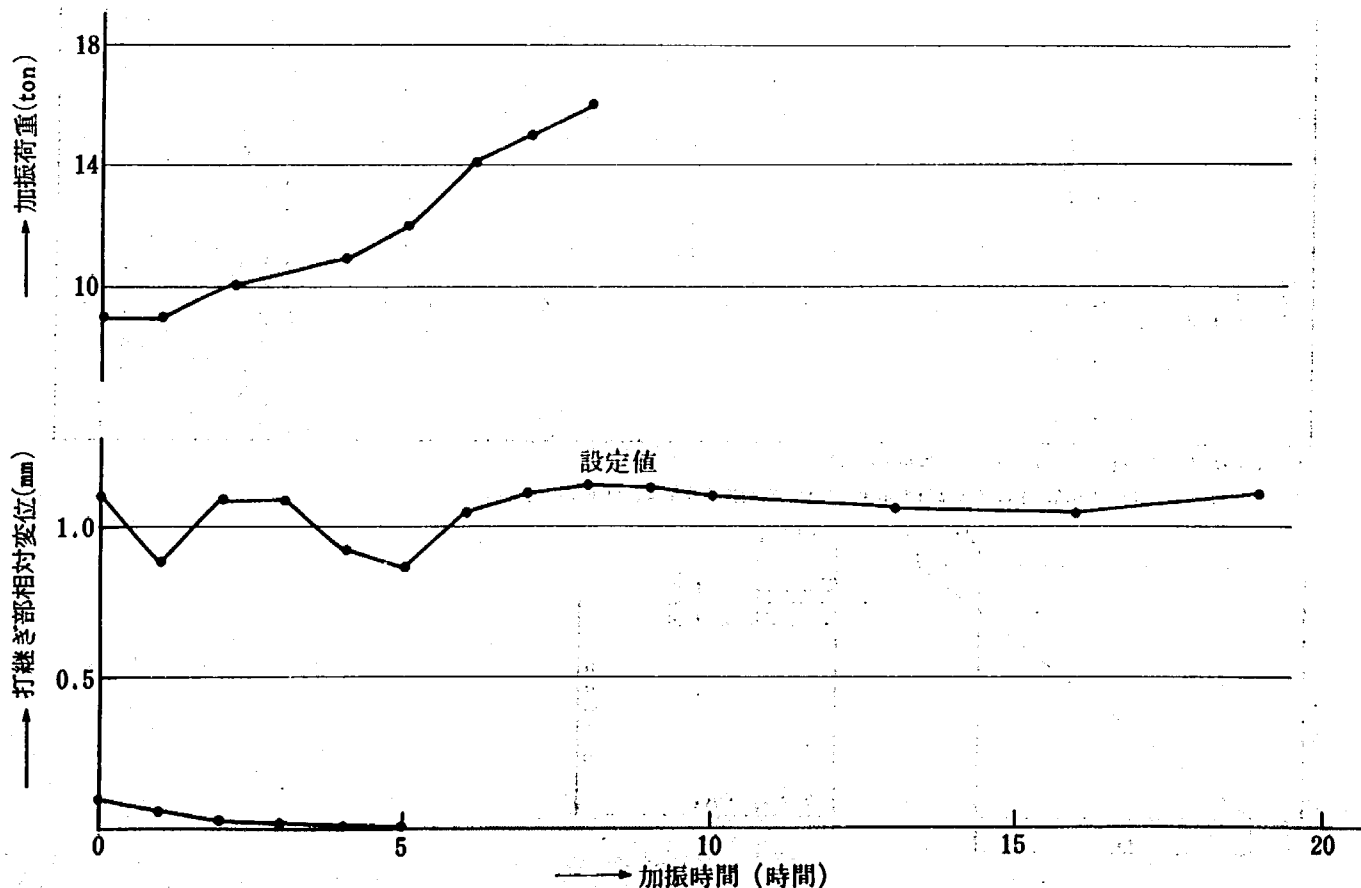


図-28 打継ぎ部相対変位 (鉄筋コンクリート床版・2分割施工, 設定相対変位 1.0 mm)

載荷試験の結果・確認された、設計荷重作用時のひびわれ幅と破壊曲げモーメントを表-9に示す。破壊曲げモーメントの値はほとんどが理論値を上回っており、特に施工中の振動の影響は見られない。設計荷重作用時のひびわれ幅についても、施工中の振動の影響はそれほどあらわれていないが、2分割施工の供試体に比べ3分割施工の供試体のひびわれ幅が小さくなる傾向がある。この傾向がさらに顕著にあらわれるのがひびわれ間隔である。I形鋼格子床版の供試体について、平均ひびわれ間隔の各施工法ごとの平均値を示したのが表-10である。側径間におけるひびわれ間隔も、継手がある場合は大きくなり、ひびわれが集中する傾向が見られる。さらに、2分割施工を行った中央径間では、振動による相対変位の影響によりひびわれ間隔がさらに大きくなっている。一方、3分割施工では、振動による影響は見られない。

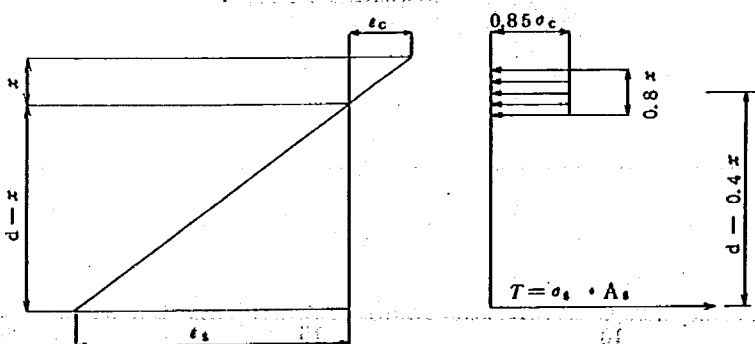
2分割施工を行ったI形鋼格子床版においてひびわれ間隔が大きくなったのは、相対変位によって鉄筋とコンクリートの付着が低下し、鉄筋によるひびわれ分散効果が減少したためと思われる。しかし、この付着の低下は局部的であり、継手筋の両端での付着は十分確保されている。

表-9 床版載荷試験結果

床版の種類	施工方法	周波数 (Hz)	相対変位 設定 (mm)	継手筋長 (mm)	設計荷重作用時ひびわれ幅(mm)		破壊曲げモーメント(k·m)	
					中央径間	側径間*	中央径間	側径間*
I型鋼格子床版	2分割	0.25	1.0	1200	0.30	0.25	6.07	5.84
							5.16	5.16
	3分割	"	"	"	0.04	0.35	6.10	5.44
							5.19	5.19
	2分割	"	0.6	"	0.11	0.80	5.38	5.90
							5.33	5.33
	3分割	"	"	"	0.01	0.80	6.17	4.33
							5.33	5.33
	2分割	"	1.0	1450	0.09	0.05	5.35	5.47
							5.16	5.17
	3分割	"	"	"	0.03	0.03	6.23	5.91
							5.19	5.19
鉄筋コンクリート床版	2分割	2.5	0.2	1200	0.23	0.18	6.61	6.20
							5.16	5.16
	2分割	0.25	1.0	"	0.08	0.06	5.76	4.89
							5.12	5.12
	3分割	"	"	"	0.13	0.05	5.91	5.67
							5.26	5.26
"	3分割	"	"	"	0.04	0.09	5.52	5.23
							5.26	5.26

* 中央径間と同じ継手をもつ部分 (I型鋼格子床版)

** この項の、上段が実測値、下段が理論値を示す。なお、理論値の算出条件は下記の通り。



るために、破壊曲げモーメントには影響が見られなかったと考えられる。くり返し荷重を受ける床版では、破壊曲げモーメントのみが耐荷力の指標になるわけではなく、疲労強度が重要である。ひびわれ間隔が大きく、付着が局部的に劣る床版は、静的強度はあっても疲労の面で問題を生じ

表-10 I形鋼格子床版曲げ強度試験
破壊時ひびわれ間隔平均値

(単位: cm)

施工方法	中央径間	継手を有する側径間	継手を有しない側径間
2分割施工	20.1	16.7	11.4
3分割施工	15.9	16.3	11.2

ることが多い。したがって、表-10より、2分割施工を行ったI形鋼格子床版に若干の問題が生じる恐れが示唆されていると考えられる。一方、3分割施工を行ったI形鋼格子床版については、相対変位による付着強度の低下が小さいうえに、高強度のジェットコンクリートの存在、打継ぎ部が2カ所に分散されていることなどの要因が作用して良好なひびわれ性状を示すものと考えられる。

鉄筋コンクリート床版については、施工中の剛度が小さく、小さな相対変位しか観測されなかったこともあり、2分割施工と3分割施工でひびわれ性状に差は見られなかった。しかし、2分割施工で今回の実験条件よりも大きな相対変位を受けた場合は、上記のI形鋼格子床版と同じ傾向を示すものと考えられる。

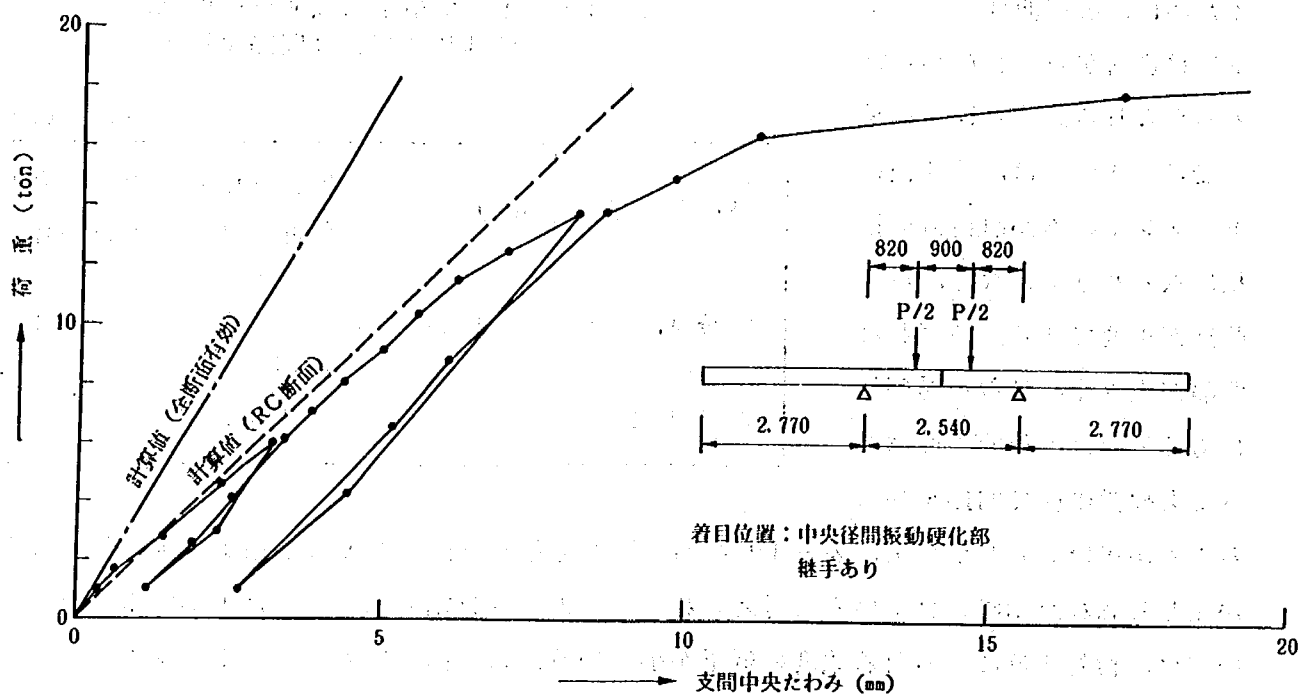
代表的な荷重-たわみ曲線を図-29~図-32に示す。I形鋼格子床版の場合、2分割施工ではひびわれ間隔等に悪影響があったが、荷重-たわみ曲線では施工中の相対変位の影響はない。荷重-たわみ曲線はひびわれ断面の理論曲線ときわめてよく一致する。一方、3分割施工では、ジェットコンクリートの影響で中央径間は側径間に比べて剛度が大きく、かなりの荷重まで全断面有効に近い挙動を示す。このことも、ジェットコンクリートを用いた3分割施工の利点である。鉄筋コンクリート床版においても、施工中の相対変位の影響は見られない。一般に、鉄筋コンクリート床版ではひびわれ発生後の剛度がI形鋼格子床版に比べて低いことが図より読みとれる。

以上の実験結果より、分割施工された床版は、強度や変形など全体挙動の上からは問題を生じないことが判明した。しかし、I形鋼格子床版を2分割施工した場合は、ひびわれ間隔などから、局部的な鉄筋の付着性状に問題があることが考えられる。この問題について、以下の実験でさらに究明する。

供試体の製作、載荷実験および載荷後の供試体の状態を写真-3~写真-8に示す。

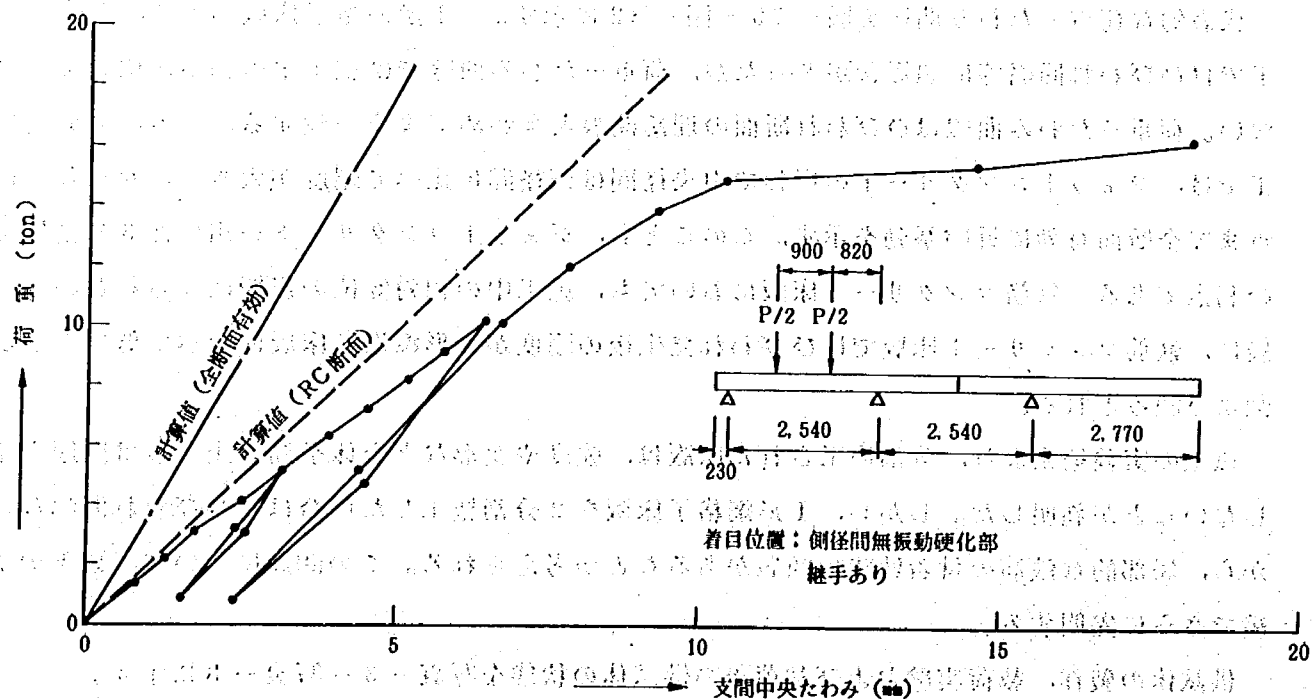
図-29 I形鋼格子床版(2分割施工)の荷重-たわみ曲線(中央径間)

図-30 I形鋼格子床版(2分割施工)の荷重-たわみ曲線(側径間)



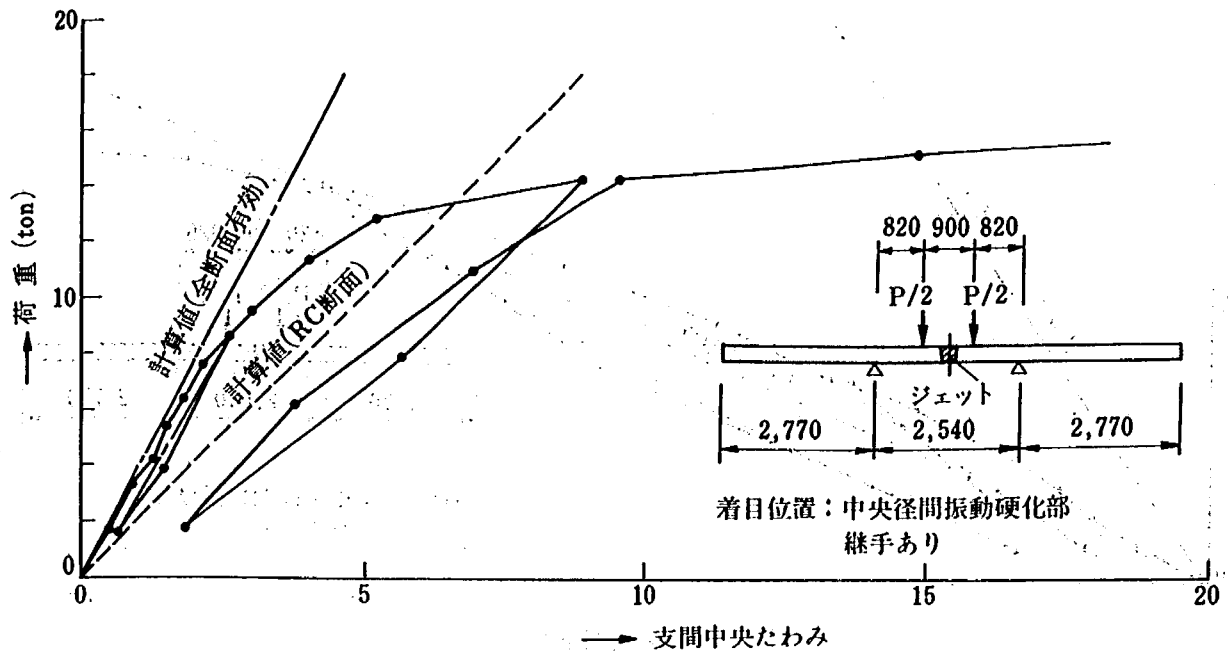
実験ケース：I形鋼格子床版・2分割施工，設定相対変位 = 1.0 mm

図-29・(1) 床版曲げ強度試験 荷重～たわみ曲線図



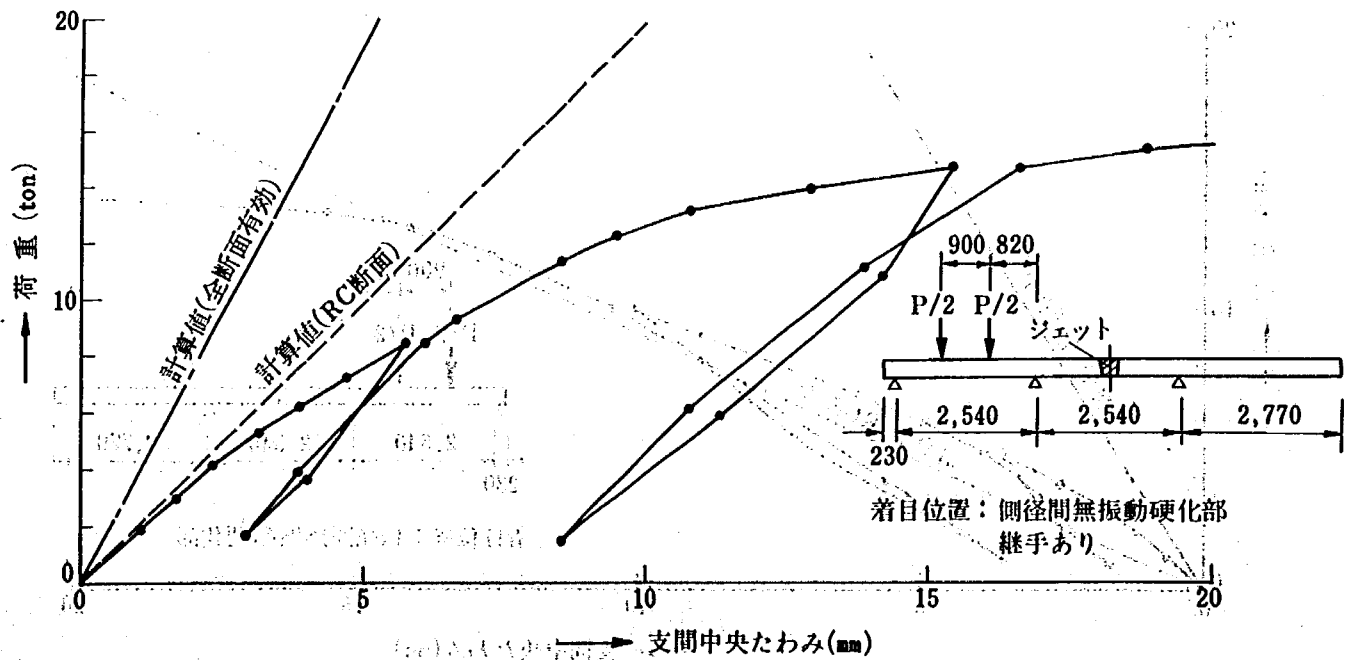
実験ケース：I形鋼格子床版・2分割施工，設定相対変位 = 1.0 mm

図-29・(2) 床版曲げ強度試験 荷重～たわみ曲線図



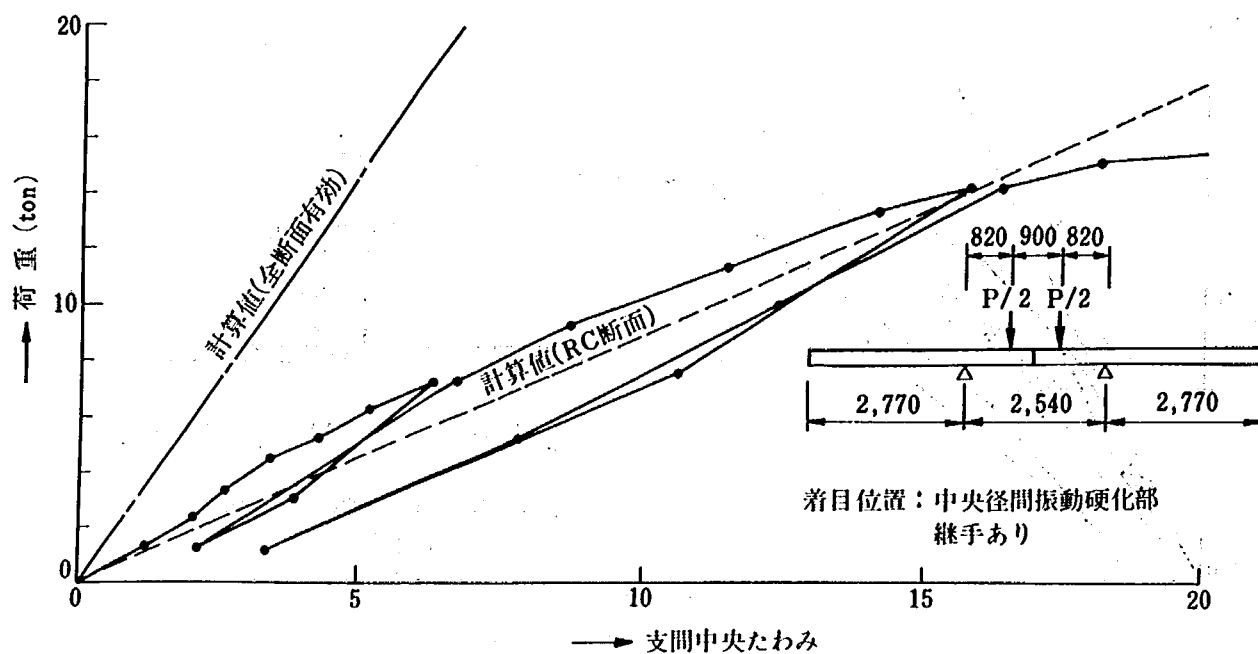
実験ケース：I形鋼格子床版・3分割施工，設定相対変位 = 1.0 mm

図 - 30・(1) 床版曲げ強度試験 荷重～たわみ曲線



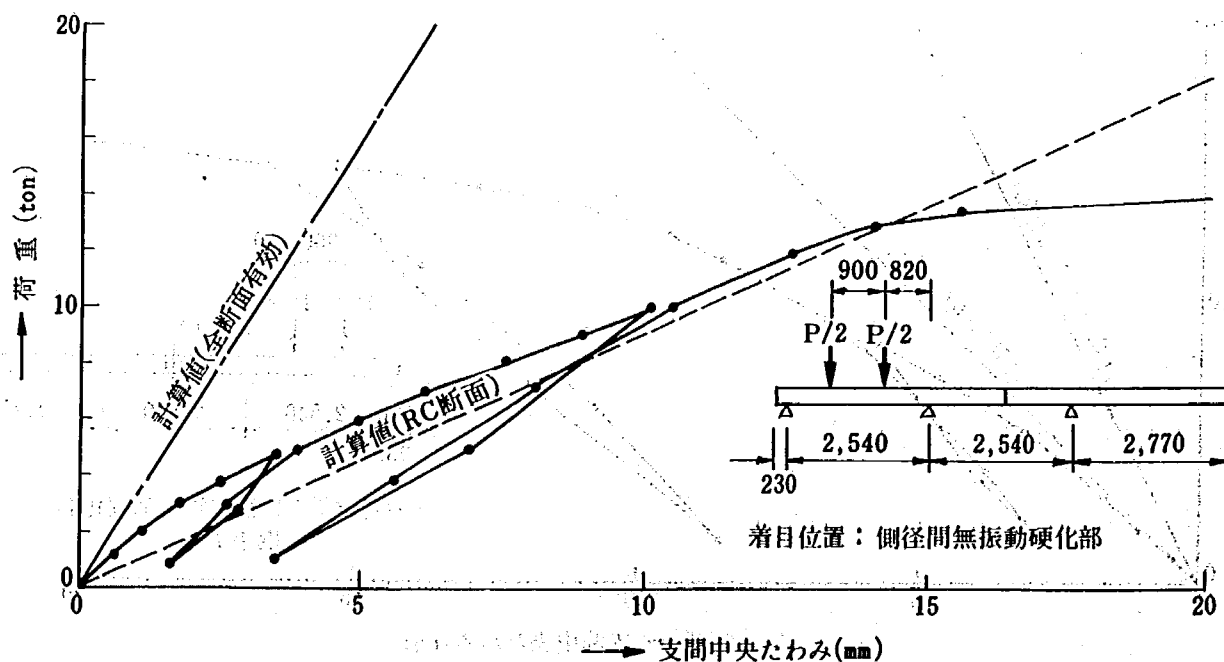
実験ケース：I形鋼格子床版・3分割施工，設定相対変位 = 1.0 mm

図 - 30・(2) 床版曲げ強度試験 荷重～たわみ曲線



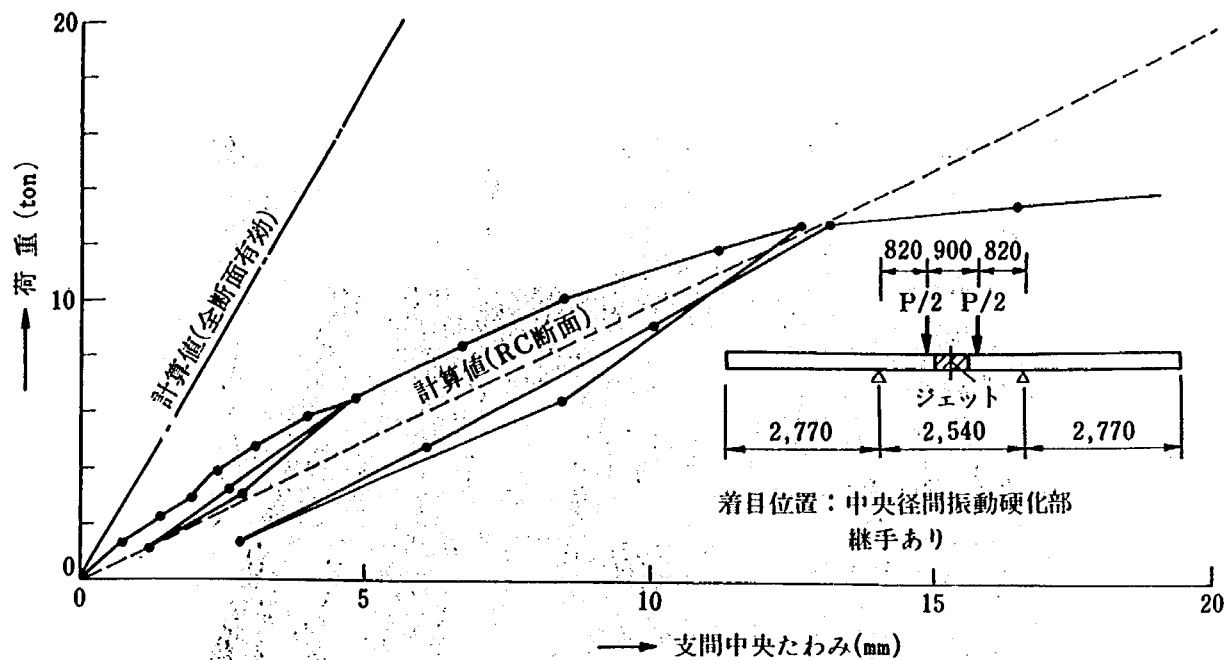
実験ケース：鉄筋コンクリート床版・2分割施工，設定相対変位 = 1.0 mm

図-31・(1) 床版曲げ強度試験 荷重～たわみ曲線



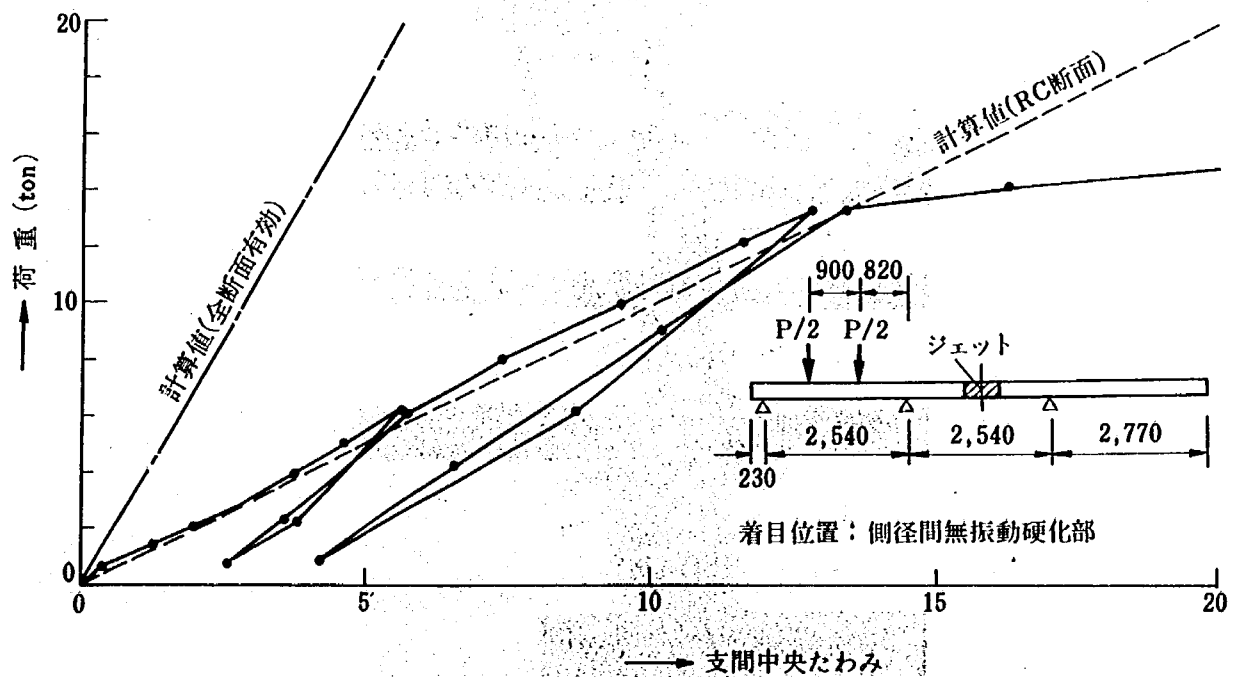
実験ケース：鉄筋コンクリート床版・2分割施工，設定相対変位 = 1.0 mm

図-31・(2) 床版曲げ強度試験 荷重～たわみ曲線



実験ケース：鉄筋コンクリート床版・3分割施工，設定相対変位 = 1.0 mm

図-32・(1) 床版曲げ強度試験 荷重～たわみ曲線

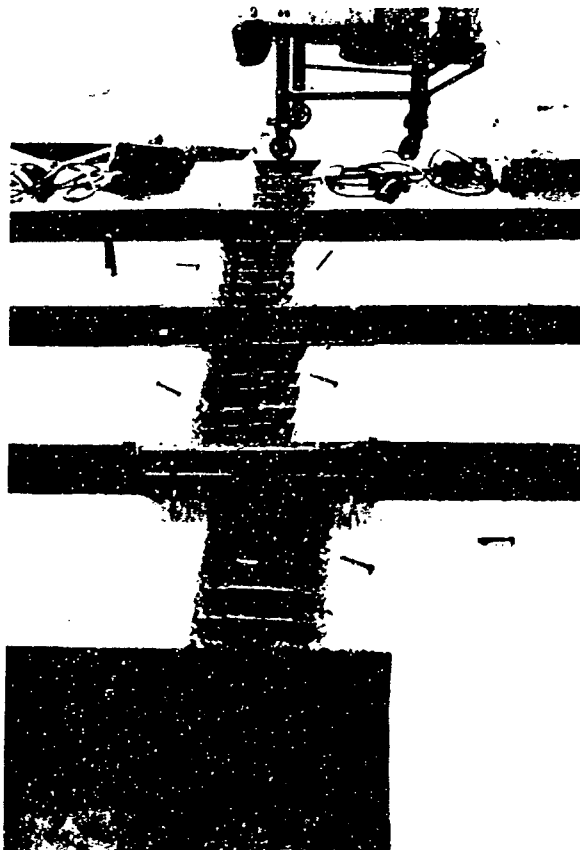


実験ケース：鉄筋コンクリート床版・3分割施工，設定相対変位 = 1.0 mm

図-32・(2) 床版曲げ強度試験 荷重～たわみ曲線



写真－3 I形鋼格子床版供試体製作
(第1期工事部分施工後)



写真－4 間詰コンクリート施工前

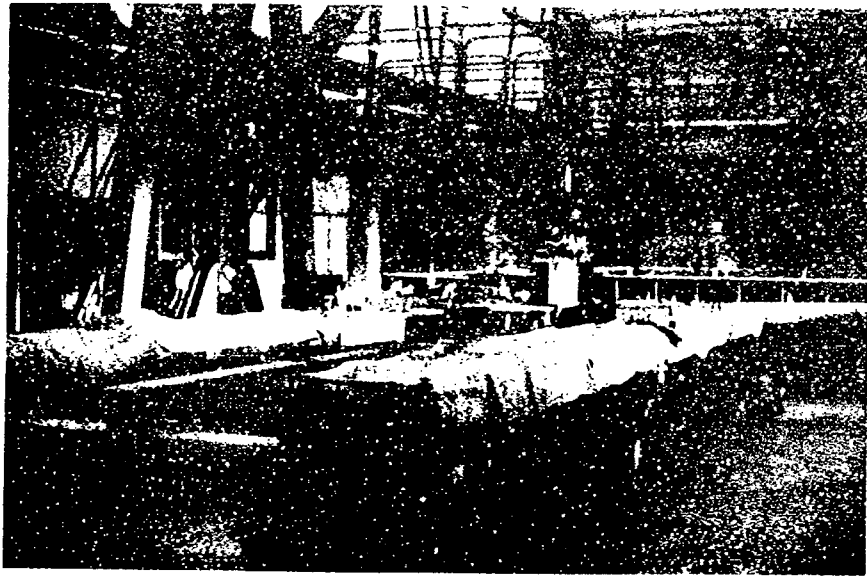


写真-5 加振養生

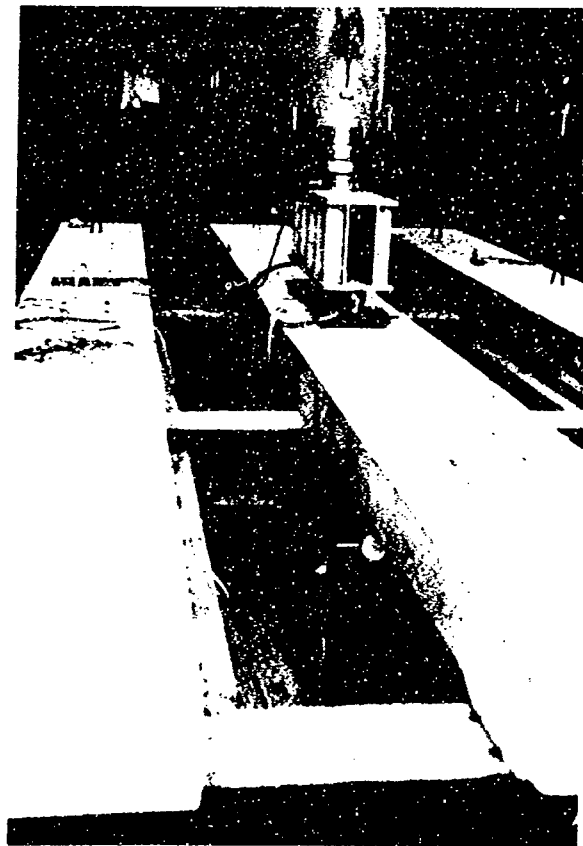


写真-6 載荷試験



写真－ 7 I 形鋼格子床版 2 分割施工供試体中央径間
 載荷試験後
 (I - ビームにそったひびわれが見られる)



写真－ 8 I 形鋼格子床版 2 分割施工供試体側径間
 載荷試験後

7. 鉄筋付着強度への影響

7.1 実験の概要

6章に述べたように、交通供用下で分割施工されたコンクリート床版では、相対変位の影響により局部的な鉄筋の付着性状に問題が出る可能性がある。したがって、相対変位を受けながら施工される床版の付着性状を引抜き試験により確認した。

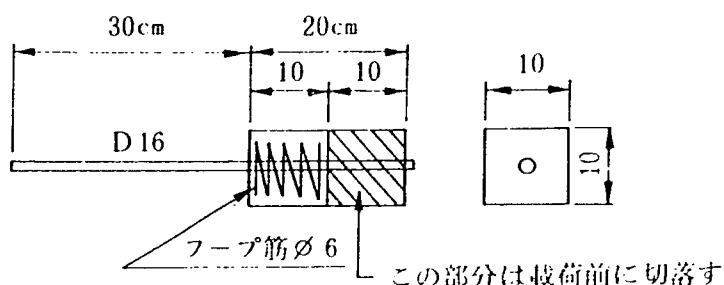


図-33 引抜き試験供試体形状

供試体の形状は図-33に示すとおりであり、载荷時のコンクリート割裂を防

ぐため、 $\phi 6$ mm のらせん鉄筋が配置されている。供試体の製作にあたっては、鉄筋を拘束してコンクリート部分に振動を与えた。加振時間は、普通セメントは48時間、早強セメント24時間、ジェットセメントは4時間である。

実験ケースを表-11に示す。供試体は、各実験ケースについて3体製作した。鉄筋とコンクリートの相対変位は、床版実験の結果を用いて定めた。すなわち、床版実験で実測された相対変位の時間変化を用いて、設定相対変位1.0 mmに対しては図-34(1)の曲線（実測相対変位0.3 mm）を、設定相対変位0.6 mmに対しては図-34(2)の曲線（実測相対変位0.1 mm）を用いて振動を与えた。これはいずれも、I形鋼格子床版を想定した値である。

さらに、局部的な付着の低下は静的な付着試験によっては明確に評価できないことも考えて、上記の供試体のくり返し引抜き試験も行った。くり返し引抜き試験のケースは、次の要因を考慮し、

表-11 付着強度実験ケース

周波数 (Hz)	実測相対 変位 (mm)	普通セメント			早強セメント			ジェットセメント		
		加振開始時間			加振開始時間			加振開始時間		
		0 h	3 h	6 h	0 h	2 h	4 h	0 h	-	-
0.25	0.3	⊕	○	○	⊕	○	○	⊕		
	0.1	---	---	---	⊕	---	---	---		
2.5	0.1	---	---	---	⊕	---	---	---		

⊕印のケースは、無振動の供試体もあわせて製作する。

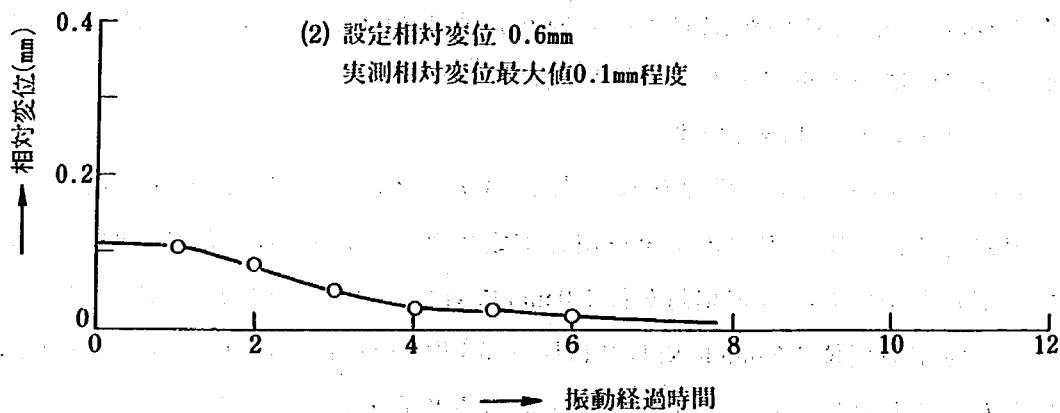
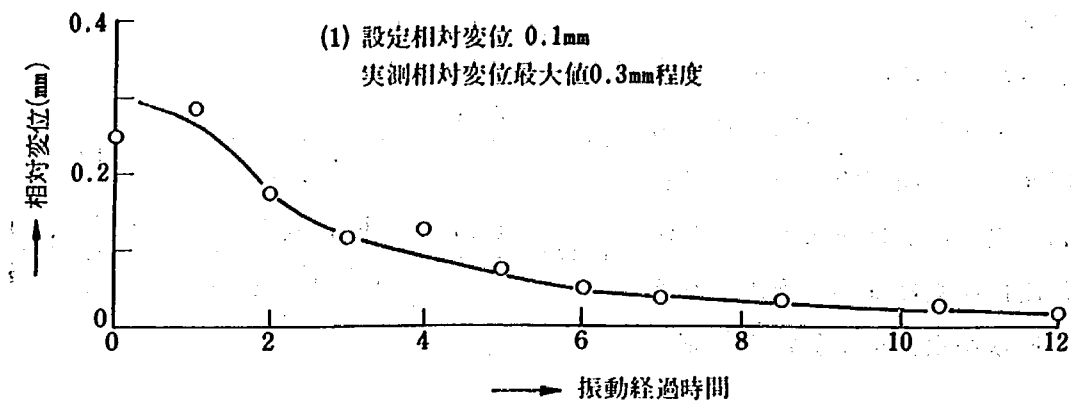


図-34 供試体製作時に与える相対変位

図-33に示す鉄筋埋込み長 5 cm, 10 cm

応力度 600 kg/cm², 900 kg/cm², 1200 kg/cm²

相対変位(実測値) 0.5 mm, 0.3 mm, 0.1 mm

供試体製作時の加振は0.25Hzで、24時間加振を行った。

静的引抜き試験は、図-35に示す方法でアムスラー型万能試験機を用いて行った。くり返し引抜き試験は、電気油圧式疲労試験機(60t)を用いて行った。

7.2 実験結果

静的引抜き試験の結果を表-12に示す。表に示すように、静的付着強度に対しては、施工中の振動の影響は見られず、自由端のすべり開始荷重につい

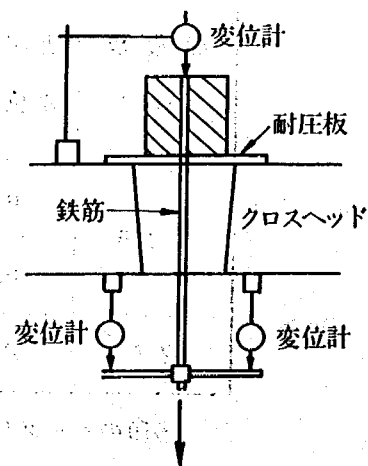


図-35 静的引抜き試験方法

表-12 静的引抜き試験結果

	加振条件		最大引抜き力 (ton)	自由端すべり荷重 (ton)	コンクリート強度 (kg/cm ²)
早強 コン クリ ート	0.25 Hz	無振	6.65, 5.80, 6.22	3.5, 2.2, 2.1	384
		0 hr ~	7.42, 7.36, 7.37	3.5, 3.5, 3.5	
	0.3 mm	2 hr ~	7.47, 7.44, 7.60	3.50, 4.0, 4.0	
		4 hr ~	6.75, 7.62, 4.82	3.50, 3.0, 2.2	
	0.25 Hz	無振	6.90, 7.28, 7.87	3.50, 3.90, 4.0	379
		0 hr ~	7.73, 7.60, 6.89	4.0, 3.5, 3.5	
	2.5 Hz	無振	7.33, 7.56, 6.98	3.50, 3.75, 2.7	329
		0 hr ~	7.66, 8.14, 8.75	3.0, 3.5, 3.5	
普通 コン クリ ート	0.25 Hz	無振	5.30, 5.08, 4.90	2.5, 2.3, 2.0	268
		0 hr ~	4.55, 4.34, 5.06	2.1, 2.2, 2.2	
	0.3 mm	2 hr ~	5.80, 5.84, 5.40	3.0, 3.0, 3.0	
		4 hr ~	3.75, 5.10, 3.90	1.5, 2.5, 2.5	
ジョ ンク ト リ	0.25 Hz	無振	鉄筋破断	—	771
	0.3 mm	0 hr ~	〃	—	

ても特に一定の傾向は見られない。これは、実測相対変位 0.1~0.3 mm という値が異形鉄筋の
リブ高 0.9 mm に対して小さいため、静的引抜き強度に影響を与えるには至らなかったためと
思われる。また、断面を切断して観察した結果、打継ぎ部分では鉄筋とコンクリートの間にわ
ずかな空けきが見られるものの、自由端では空けきは見られず、付着が影響を受ける長さは

10 cm 以下であることが確認された。このことも、施工中の振動が静的引抜き強度に影響を与
えない原因の 1 つであり、影響を受けるのはきわめて局所的な領域であると考えられる。

一方、くり返し引抜き試験の結果は表-13 に示すとおりである。埋込み長が 10 cm の場合
は、疲労強度はいつも十分大きい。埋込み長が 5 cm の場合は、載荷荷重が大きく、相対
変位が大きい時には比較的低サイクルで破壊する。このことは、相対変位が大きい場合は、打
継ぎ部から 5 cm 程度の領域で鉄筋の付着が低下していることを示す。これは、前述の床版曲
げ試験の結果とも一致する。

表-13 くり返し引抜き試験結果

実測相対 変位 (mm)	埋込長 (cm)	載荷荷重 (ton)		
		1.2	1.8	2.4 ^{***}
0.5	10	—	—	破壊せず ^{**}
	5	破壊せず	94,900 [*]	—
0.3	10	—	—	破壊せず
	5	破壊せず	1,230 [*]	560 [*]
0.1	10	—	—	破壊せず
	5	破壊せず	—	破壊せず

* 鉄筋が引き抜けた回数

** 200万回くり返し載荷して破壊しなかったことを意味する

*** 鉄筋の応力度1200kg/cm²に相当する荷重

8. 結 論

- (1) 交通供用下で分割施工されるコンクリート床版では、横げた等を通して施工中のコンクリートが全体的に振動を受けるが、200ガル程度までの加速度によってコンクリートの品質が影響を受けることはない。また、400ガル程度の加速度を受けた場合は、締固め効果によってコンクリート強度が増加する場合もある。
- (2) 分割施工されるコンクリート床版では、施工中にコンクリートと打継ぎ部の継手筋との間に相対変位を生じて、局部的に継手筋とコンクリートの付着が損われることがある。このことは特に、施工中の剛度の大きいI形鋼格子床版を2分割施工した場合、付着が損われる傾向が多い。このことは、静的な床版強度には影響しないが、床版のひびわれ、疲労強度に悪影響を与える恐れがある。一方、3分割施工したコンクリート床版は、I形鋼格子床版もしくは鉄筋コンクリート床版によらず健全であると考えてよい。

交通供用下で分割施工される
コンクリート床版の耐荷力

ISSN 0386-5878
土木研究所資料第 1717 号
昭和 56 年 8 月 (1981)

キーワード コンクリート床版, 分割施工, 実験結果

要 旨

交通供用下で分割施工されるコンクリート床版の施工方法について, 実験的検討を行ない, 妥当性を確認した。



郵便はがき

四十円切手
をはって下
さい

3 0 5 - □ □

茨城県筑波郡豊里町大字旭一番地
建設省土木研究所
橋梁研究室 御中

No. 23

No. 23

配布先氏名

配布先住所



土木研究所資料第1717号 部

上記のとおり受領しました。

所 属（住所）

氏 名 印