

道路事業調査費試験
調査上部構造の調査
設計施工基準の作成
に関する試験調査

Br. 76-08

土 木 研 究 所 資 料

第一二二八号

コンクリート橋の耐荷力に関する調査研究

昭和五十二年二月

建設省土木研究所

土 木 研 究 所 資 料

第 1228 号

コンクリート橋の耐荷力に関する調査研究

昭和52年2月

建設省土木研究所

構造橋梁部 橋梁研究室

Copyright © 年度 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。

目 次

まえがき

1	コンクリート橋に関する一般的な調査	1
2	材料強度に関する調査	3
3	実橋載荷試験	5
4	実桁破壊試験	8
5	耐荷力算定式および損傷に関する調査	10
6	鉄筋量、鉄筋位置の推定のための調査	15
7	β (橋に必要な TL20 に対する破壊安全率) の検討	18
8	耐荷力算定指針 (案)	20
	図および表	25
	あとがき	93

ま え が き

現在供用されている道路橋には、現行の道路橋示方書に規定されている自動車荷重より小さな荷重で設計されている橋梁が数多くある。現行の自動車荷重、TL-20は、昭和31年から用いられており、それ以前の示方書ではもっとも小さな設計自動車荷重を規定していた。

このような橋梁に対して、その耐荷力をいかに評価するかが大きな問題となっている。

鋼橋（非合成単純プレートガーダー橋および単純トラス橋）については、昭和48年に鋼道路橋供用荷重算定指針（案）ができ、耐荷力の評価基準として用いられている。しかし、コンクリート橋については、耐荷力の評価方法は確立されておらず、鋼橋の場合と同じような耐荷力の評価に関する指針の作成が強く要望されている。

このため、建設省技術研究会、道路部門指定課題として、昭和50年度、51年度の2ケ年にわたってそれぞれ次の各調査を実施し、コンクリート橋の耐荷力の評価方法を確立するための資料を得た。

- (1) 橋梁の補修・補強工法について（コンクリート橋に関する調査）……………昭和50年度
- (2) コンクリート橋の耐荷力に関する調査研究……………昭和51年度

調査の実施にあたっては、道路局、土木研究所で、各調査目的ごとにその調査表を作成し、これを対象橋梁の各管理機関に送付した。各橋梁管理機関はこれらの調査表に基づいて調査を行い、道路局・土木研究所がその解析、とりまとめを行った。

この報告は、2ケ年の調査結果を集約し、その結果得られたコンクリートT桁橋耐荷力算定指針（案）を提示するものである。

昭和52年2月

橋梁研究室長	佐 伯 彰 一
同 研究員	高 野 義 武
"	百 田 国 広
"	白 浜 浩

1. コンクリート橋に関する一般的な調査

1.1 目 的

この調査では、現在供用されている古いコンクリート橋の形式、寸法等の一般的事項や設計図書の有無を調べて主桁耐力の算定法を検討すべき橋梁形式、スパン等の目安をつけること、耐荷力算定法に盛込むべき内容を検討するための基礎資料を得ること等を目的とした。

1.2 対象橋梁

一般国道（指定区間、指定区間外）で現在供用中の橋梁のうち、昭和30年以前に施工されたスパン5 m以上のコンクリート橋全数を対象とした。したがって、以下橋梁とは5 m以上のスパンの橋を示す。

調査した橋梁数は次のとおりである。

建設省（北海道・沖縄を含む）	1,879 橋
都府県	2,578 橋
主要都市	43 橋
合 計	4,500 橋

1.3 調査内容

調査内容は次のようなものである。（附表-1参照）

- (1) 橋梁架設年月、適用示方書、等級
- (2) 橋梁形式
- (3) 橋梁スパン、幅員構成
- (4) 設計図書（図面、設計々算書）の有無
- (5) 交通量、大型車混入率

1.4 調査結果

- (1) 適用示方書、等級について

古い橋であっても架設年度は比較的是っきりしており、これから適用示方書の推定を行った。

図-1に、適用示方書別の橋梁数を示す。調査した橋梁のうち、大正15年および昭和14年示方書による橋梁が大部分を占め、両者で全体の96%にのぼっている。

図-2に、等級別の橋数を示す。大正15年、昭和14年で活荷重の大きさに若干の違いはあるが、両者をひとまとめにして示した。また、3等橋は大正15年制定の示方書によるものだけである。これによると、設計荷重8 t（大正15年制定）～9 t（昭和14年制定）の2等橋が最も多く、設計荷重6 tの3等橋と合わせると一般国道で現在供用中のコンクリート橋の60%以上は9 t以下の設計自動車荷重で設計されているといえる。また、橋長別の橋数を図-3に示す。この図から、橋長5～20 mの橋梁が全体の約75%にのぼっていることがわかる。

- (2) 橋梁形式、スパン、幅員について

図-4に、橋梁形式別の調査結果を示す。この図から、単純T桁橋が半数以上を占め、ついで単純床版橋が多いことがわかる。T形断面の単純、連続、ゲルバーの橋数を合計すると、全橋数の約64%になる。したがって、先ずT形断面の桁に対する調査を行うことにした。

スパン別の調査結果を図-5に示した。これより、短スパンの橋梁が非常に多く、15 m以下の橋梁が全体の約90%

にのぼることがわかる。

幅員については、図-6に示す。これによると、全体的には車道幅員5.5～8.25mの橋梁が多くなっているが、指定区間以外では2.75～5.5mのものが多いいえる。

(3) 設計図書の有無について

橋梁架設時の図面、計算書等は現在残っているものは少ない。図面または計算書のいずれか片方でも保存されている橋梁は、全体の5% (234橋)であった。このうち、図面および計算書のいずれかが残っているものは202橋、両方ともあるものは32橋である。

このことは、大部分の古いコンクリート橋については、材料強度、鉄筋量および配置等が不明であって、これらは適当な推定方法によって推定しなければならないことを意味する。

(4) 交通量、大型車の混入率

図-7, 8, 9にそれぞれ1日1車線当りの交通量、大型車の交通量、大型車の混入率を示す。これらの図からわかることは、古いコンクリート橋でもかなり苛酷な交通に供されているものが多いことである。

2. 材料に関する調査

2.1 目 的

1.4(4)に示すように、古いコンクリート橋では、設計図書が保存されておらず、各橋梁毎の使用材料の強度を正確に知ることが困難である。そこで、できるだけ多くの古いコンクリート橋から鉄筋およびコンクリート試験片を採取し、材料試験を行って、各材料の一般的強度レベルを把握する。また、コンクリート強度の推定等に用いられる非破壊試験法の精度を調査する。

2.2 対象橋梁

昭和20年以前に施工されたコンクリート単純T桁橋梁で、近く撤去を予定している橋梁を、各地方建設局（北海道、沖縄含む）管内から合計19橋選定した。

これらの橋梁によって後述する実橋載荷試験および実橋破壊試験も行った。

2.3 材料強度調査

イ) 材料強度調査

(i) コンクリート強度試験

主げた、床版からそれぞれ少なくとも5本づつコアを取り、圧縮強度およびヤング係数を測定した。

コンクリートのコア供試体による強度および静的ヤング係数を表-1に示す。この表からコンクリート強度は、(4)中津川橋の試験結果以外は少なくとも200 kg/cm²の強度を示していること、コンクリート強度およびヤング係数は橋梁によってかなり異なること、強度の小さいものほど測定値のばらつきが大きいこと等がわかる。

(ii) 鉄筋強度試験

鉄筋の降伏点および引張強さについて1橋あたり少なくとも5本の供試体により試験を行った。

表-2は、鉄筋強度試験結果である。この表から、古い鉄筋コンクリート橋においては少なくともSR24の降伏点強度、 $\sigma_{sy} = \frac{2,400}{2,400} \text{ kg/cm}^2$ を有する鉄筋が用いられていることがわかる。また、昭和初期に建設された(8)、荒井橋において異形鉄筋が用いられていたことは興味深い。

ロ) 非破壊試験法に関する調査

調査した非破壊試験法は、シュミットハンマーによるコンクリートの圧縮強度試験、超音波伝播速度によるコンクリートの圧縮強度の推定および鉄筋探知器による鉄筋位置、量の推定に関するものであった。ただし、鉄筋探知器の調査は全体でわずか4橋について行ったものである。

コンクリートコアによる強度、シュミットハンマーによる推定強度、超音波伝播速度についての調査結果は表-1に示し、これら相互の関係は図-10に示した。これらの図表から、コアによる圧縮強度と、シュミットハンマーによる圧縮強度とは、あまり良い相関性はないといえる。

別な調査で床版コンクリートについて行ったより多くの調査結果（図-11）からも同様な結果が得られている。

超音波伝播速度は、この程度のわずかなコンクリート強度の差ではほとんど差があらわれず一定値となってしまう。すなわち、超音波伝播速度から、コンクリートの圧縮強度の推定を行うことは現在の段階では困難があると言える。この時用いた測定機種は1種類（MIN 1105）であった。

表-3に鉄筋探知器によるかぶり厚の推定精度調査の結果を示す。鉄筋探知器では、鉄筋位置はある程度とらえるようであるが、たとえば鉄筋が2段に配置されている場合の上段鉄筋があるかどうかはあまりはっきりしないようである。また、鉄筋径の推定はほとんど不可能なようである。測定に用いた機種は2種類（ER4、PQ120）であった。

その他、超音波によるひびわれ深さ、床板厚さの推定について報告があったが、その推定精度はあまり期待できないようである。

3. 実橋載荷試験

3.1 目的

一般に、実橋載荷試験において、桁のたわみ、鉄筋の応力度等は計算値と必ずしも一致しない。これは、計算上考慮していないコンクリート舗装、高欄、地覆等が実際には断面の一部として有効に働いていること、荷重が簡易計算法（荷重の横方向への分配を考えずに床版を単純桁として主桁の荷重分担を決める方法、別名1-0法とも呼ばれている。以下簡易計算法という）によるものよりも広く各主桁に分配されること、コンクリートの弾性係数を正しく把握しえないこと等のためである。

このように実測値と計算値に差を生じさせる要素は多数あり、厳密には橋梁によってその原因となる支配的な要素は異なっているはずである。しかし、これらの要素による効果を総合したものとして計算で求めた耐荷力を割増して実橋の耐荷力を評価することにした。

このため、なるべく多数の橋梁について載荷試験を実施し、計算値と実測値の比（ f 値）を求めようとした。

3.2 対象橋梁

昭和50年度は、材料強度に関する調査と同じ橋梁、すなわち昭和20年以前に施工されたコンクリート単純T桁橋で、近く撤去を予定している橋梁19橋を選定した。（表-4、図-41参照）

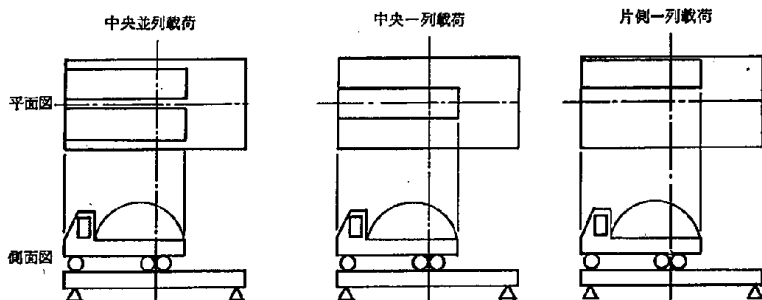
また、51年度は、施工年次を昭和30年以前とし、橋梁形式も単純桁のみでなく、ゲルバー桁も加えた18橋について調査した。（表-5、図-42参照）

したがって、2年間で37橋についてのデータを得たことになる。

3.3 試験内容

1) 載荷方法

載荷位置は、下図に示すように中央並列、中央1列、片側1列の3種類とし、荷重車としては総重量20t程度のものを用いた。



荷重車載荷方法

2) たわみの測定

各桁の支間中央点のたわみを各載荷ケースについて測定した。測定は1/100 mm刻みのダイヤルゲージ以上の精度を

有する器具を用いることとした。

3) 鉄筋ひずみの測定

各桁の支間中央点付近の引張鉄筋ひずみをひずみゲージで測定した。測定対象桁はたわみを測定する桁とした。ひずみゲージは、ひびわれの発生している箇所セットするものとし、1箇所2枚のひずみゲージを貼って測定誤差を少なくした。

4) 桁のたわみ、鉄筋の応力度の計算

実測値との比較のため、簡易計算法およびギヨン・マソネによる荷重分配を考慮した計算法の2通りの方法によって、実測した桁のたわみおよび鉄筋ひずみを求めた。

たわみの計算においては、鉄筋とコンクリートのヤング係数比 $n=10$ とし、鉄筋応力度の計算においては $n=15$ と仮定した。

3.4 試験結果

載荷試験を行なった橋梁の概要および損害状況を表-4, 5に示す。これらの橋梁の載荷試験の結果、実測および計算応力度の比 (f) については、図-12, 13, 14から次のことがいえる。

- (1) 簡易計算法による応力度と実測応力度との比は、1.4よりも大きい。

すなわち、

$$f_0 = \frac{\sigma_0}{\sigma} > 1.4$$

σ_0 : 簡易計算法による鉄筋応力度

σ : 実測鉄筋応力度

- (2) 荷重分配の影響を考慮した計算応力度と実測応力度の比は1.0よりも大きい。

$$f_1 = \frac{\sigma_1}{\sigma} > 1.0$$

σ_1 : 荷重分配の影響を考慮した鉄筋応力度

- (3) 簡易計算法による応力度と荷重分配の影響を考慮した応力度との比はあまり変動せず、0.8から2.5の間に分布している。

すなわち、

$$0.8 < f_{01} = \frac{\sigma_0}{\sigma_1} < 2.5$$

- (4) これに対して、荷重分配の影響を考慮した応力度と実測応力度の比のばらつきは大きく1.0から10までの範囲に広がっている。

$$1.0 < f_1 = \frac{\sigma_1}{\sigma} < 10.0$$

また、載荷状態別にみた荷重分配を考慮した応力度と実測応力度との比 (f_1) については、図-15から次のことがいえる。

- (5) f_1 の値が大きい方から片側1列載荷 f_e 、中央並列載荷 f_{ee} 、中央1列載荷 f_o の順となっている橋梁が全橋梁37橋の内21橋と最も多い。ついで片側1列載荷、中央1列載荷、中央並列載荷の順のものが6橋となり、両方で約73%になる。

$$f_e > f_{ee} > f_o \quad 21 \text{ 橋}$$

$$f_e > f_o > f_{ee} \quad 6 \text{ 橋}$$

さらに、簡易計算法による応力度と実測応力度の比 σ_0/σ と同じくたわみの比 δ_0/δ の関係をみると、次のことが確認された。すなわち、

- (6) 応力度の比の方がたわみの比よりも一般に大きな値となる。

$$\sigma_0 / \sigma > \delta_0 / \delta$$

この結果は、図-16に示した。

4. 実 橋 破 壊 試 験

4.1 目 的

古いコンクリート橋の主桁が

- (1) どの程度の剛性を有しているか。
- (2) どの程度の強度を有しているか。
- (3) 鉄筋が降伏する荷重までの桁が弾性的挙動を示すかどうか。

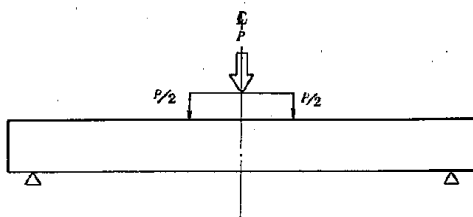
等について調査するため、実橋から主桁を取り出して破壊試験を行なった。

4.2 対 象 橋 梁

昭和50年に材料に関する調査および実橋荷重試験の対象となった橋梁の内から、撤去、架換えを行なった4橋、6本の主桁について破壊試験を行なった。これらは表-6に示す各橋梁である。

4.3 調 査 内 容

荷重は、下図に示すように2点荷重を原則とし破壊するまで荷重を加えた。測定要領等は、実橋荷重試験と同様とした。



載 荷 方 法

調査、測定は次の内容について行なった。

- (i) 荷重とたわみの関係
- (ii) 荷重と鉄筋応力度との関係
- (iii) ひびわれ発生状況
- (iv) 破壊荷重および破壊状況

4.4 試 験 結 果

4.4.1 剛性について

図-17に荷重と支間中央断面における引張鉄筋のひずみおよび支間中央のたわみとの関係を示す。

これらの図に示したひずみの計算値は $n=15$ とし、コンクリートの引張抵抗を無視して求めたものであり、たわみの計算値としては、 $n=10$ とし、全断面有効と仮定したものと、コンクリートの引張抵抗を無視した場合の値を示してある。

これらの図から、計算値と実測値との関係は橋によってかなり異なることがわかる。すなわち、間内橋においては、

ひずみは計算値とかなりよく一致しており、たわみについては、 $n=10$ 、コンクリート引張無視という仮定により求めた計算値に近い値を示している。

荒井橋においては、ひずみは計算値より少し小さい目でありたわみについては、荷重が小さい範囲では $n=10$ 、コンクリートの全断面有効という仮定によって求めた計算値に近い値を示している。しかし、荷重が大きくなるにしたがって、コンクリートの引張無視の断面による計算値に近づいている。

恩根内橋においては、ひずみは荷重が小さい範囲では計算値よりかなり小さく、たわみについては、 $n=10$ 、コンクリートの全断面有効という仮定によって求めた計算値より小さい値を示している。

紅葉橋においては、ひずみは計算値より少し小さい目で、たわみについては、ほぼ $n=10$ 、コンクリートの引張無視という仮定によって求めた計算値にそっている。

計算値と実測値との関係に影響する因子としてはコンクリート強度、コンクリートのヤング係数、ひびわれ発生状況等が考えられるが、上記の各橋については計算値と実測値との関係とコア供試体によるコンクリート強度、コンクリートのヤング係数、ひびわれ発生状況等との明確な関係は把握できなかった。

しかし、破壊試験の結果、荷重が大きくなるとたわみもコンクリートの引張強度を無視した計算値に近づいていく桁が多くなることがわかった。

4.4.2 強度について

表-6は次式で求めた桁の破壊抵抗曲げモーメントと、最大荷重による曲げモーメントを示したものである。

$$M_u = A_s \cdot \sigma_{sy} \left(d - \frac{1}{2} \cdot \frac{A_s \cdot \sigma_{sy}}{\sigma_c \cdot b} \right)$$

ここに A_s : 引張鉄筋断面積 (cm^2)

σ_c : コンクリートの圧縮強度 (kg/cm^2)

σ_{sy} : 鉄筋降伏応力度 (kg/cm^2)

d : 有効高さ (cm)

b : 上フランジ幅 (cm)

なお、この計算では、 σ_c および σ_{sy} としては表-1および2に示した試験によって得られた材料強度の各橋ごとの平均値を用いた。表-6から、古いコンクリート橋でも間内橋以外では一般的に用いられている計算法によって得られる終局強度を発揮することがわかる。

4.4.3 桁の弾性について

図-18には、この調査で行なった6本と近畿地建で今年の3月までに行なった4本の合計10本の桁の破壊試験の結果をまとめて表示する。

この図においては、桁自重の影響も考慮されている。これによると実測応力度は、実橋載荷試験で行なった3つの載荷状態の最大のもので鉄筋の降伏応力度の53%程度となっていることがわかる。この図から大部分の桁は、鉄筋の降伏点まではほぼ弾性的な軌跡をたどるといえる。

5. 耐荷力算定式および損傷に関する調査

5.1 目 的

耐荷力の評価にあたっては、まず計算によって耐荷力を求めそれによって所定の安全率を確保できない結果を得た場合には最終的に実橋載荷試験で耐荷力を評価することとした。

コンクリート橋の耐荷力を計算によって算定する方法として現行活荷重 (TL-20) に対する主桁の曲げ破壊安全率を基本とする計算式を用いることにしたが、この調査では、これを実橋に適用した場合耐荷力の評価値がどのような値になるかを調査してこの計算式が妥当であるかどうかを判断するために行なったものである。

また、主桁、床板の損傷状態を個々の橋梁について調査し、コンクリート橋の損傷が耐荷力とどのような関係にあるかを把握しようとした。

5.2 対象橋梁、対象部材

この調査は、近畿地建が管理する現在供用中の橋梁で、昭和30年以前に施工されたスパン5 m以上のコンクリート橋単純T桁171橋およびゲルバー吊桁部分9橋、合計180橋について行なった。これらはすべて大正15年、昭和14年制定の示方書に基づいて設計されたものであった。

耐荷力算定の対象とする部材は主桁、損傷調査の対象とする部材は、床版および主桁とした。

5.3 調査内容

調査内容は大きく分けて次に示す5.3.1、5.3.2の2つになる。

5.3.1 主桁の耐荷力算定式に関する調査

(1) 耐荷力算定式の基本的考え方

耐荷力の算定式を作る上で次のような考え方を基本とした。

(A) 曲げモーメントと鉄筋降伏応力度に着目した算定式

今回の調査では、T桁コンクリート橋の主桁の曲げモーメントに対する耐荷力をとり上げた。

昭和50年に載荷試験を行なった橋梁について、設計当時の荷重による応力度および現行設計荷重による応力度を計算によって求めた結果をそれぞれ表-7、8に示す。この場合、曲げモーメントの計算は簡易計算法によって求めた。

この結果、現行設計荷重によるコンクリートの応力度はすべて 60 kg/cm^2 以下となっており、材料強度に関する調査の結果では用いられているコンクリートの圧縮強度が大部分 200 kg/cm^2 以上であることを考えるとコンクリート強度については比較的余裕があるといえる。

これに対し鉄筋は、ほぼSR24なみの降伏応力度の材料に対し、現行設計荷重による応力度が大部分 $1,400 \text{ kg/cm}^2$ を越え、中には $2,000 \text{ kg/cm}^2$ に達するものもあってコンクリートに比較するとより厳しい条件にあるといえる。

特に終局強度には、鉄筋の量、鉄筋の強度が最も大きな影響を与えることがわかっている。そこで、曲げモーメントによる引張鉄筋応力度に着目した耐荷力算定式について先ず検討を行なった。

(B) f 値 (実測、計算応力度比) の導入

古い橋梁の設計では、簡易計算法によって主桁が設計されている。また、コンクリート舗装、地覆等計算上主桁断面として考慮されていない部分が、主桁の一部として実際に作用する場合が多い。これらの理由から実橋における応力測定を行なって、計算応力度と比較すると実測応力度の方が常に小さな値となる。

耐荷力算定式ではこのことを利用して、計算値に修正を加えることとした。すなわち、

$$M_r = \frac{1}{f} M_c \quad (1)$$

ここに M_r : 修正を行なった曲げモーメント

M_c : 計算による曲げモーメント

f : 実測、計算応力度比 ($= \sigma_0 / \sigma$)

σ_0 : 計算応力度

σ : 実測応力度

3.4(1)に述べるように、実橋載試験の結果から活荷重に対する f 値の最小値として 1.4 を得たので、簡易計算法によって計算する場合には $f = 1.4$ として計算した。死荷重についての f は、測定が困難であることから $f = 1.0$ とし、各主桁に一樣に荷重が分配されているものとして計算した。

(C) TL-20 に対する主桁の曲げ破壊安全率を表わす算定式

算定式は、主桁が曲げ破壊する状態を想定し、破壊状態での TL-20 に対する主桁の破壊安全率を表わす式とした。この場合、比較的小さな荷重レベルで得た f の値を終局限界レベルまで適用するためには、その妥当性を確認しておく必要がある。

4.3に述べるように、実橋破壊試験の結果、大部分の桁については車両による載荷試験によって生じる低い荷重レベルでの桁の挙動は、破壊を議論するような大きな荷重レベルまでほぼ弾性的であるとみてよいことがわかった。

このことから実橋載荷試験による f の値を用いて破壊安全率を論じることは可能であると考えられる。

(D) 桁の有効高さおよび鉄筋量の推定

コンクリート橋に関する一般的な調査の結果 1.4(4)で述べたように、設計図書に保存されている橋梁が非常に少ないことがわかった。このため、耐荷力判定の計算に必要な桁の有効高さおよび鉄筋量は推定によらざるを得ない。鉄筋量、鉄筋位置の推定のための調査では、次の各式をそれぞれの推定式として用いた。

$$d = H - 10 \quad (2)$$

d : 推定有効高さ (cm)

H : 桁 高 (cm)

$$A_s = \frac{M_0}{\sigma_{sao} (d - t/2)} \quad (3)$$

A_s : 推定引張鉄筋量 (cm^2)

t : 床版厚 (cm)

σ_{sao} : 設計当時の鉄筋の許容応力度 ($= 1,200 \text{ kg/cm}^2$)

M_0 : 設計当時の簡易計算法による曲げモーメント ($\text{kg} \cdot \text{cm}$)

(2) 耐荷力算定式

以上(A)から(D)までの基本的考え方に基づいて、主桁の耐荷力を算定する次式をつくり、これを実橋に適用した場合、どのような値になるか調査した。この場合、曲げモーメントは全て簡易計算法によって求めたものである。

$$\gamma = f \cdot \frac{Mu - 1.1 Md}{M_0} \quad (4)$$

$$Mu = A_s \cdot \sigma_{sy} \left(d - \frac{1}{2} \frac{A_s \cdot \sigma_{sy}}{0.85 \sigma_{ck} \cdot b} \right) \quad (5)$$

ここに、 γ : TL-20 に対する主桁の曲げ破壊安全率

f : 実測、計算応力度比 ($=1.4$ とする)

M_u : 主桁の曲げ破壊抵抗モーメント ($t \cdot m$)

M_d : 現在の死荷重による曲げモーメント ($t \cdot m$)

M_l : TL-20 による曲げモーメント (T 荷重, L 荷重各々による曲げモーメントを求めて大きい方を M_l とする)

A_s : 引張鉄筋量 (cm^2)

σ_{sy} : 鉄筋の降伏応力度 ($=2,400 \text{ kg/cm}^2$ とする)

d : 有効高さ (cm)

b : 圧縮フランジの有効幅 (cm)

σ_{ck} : コンクリートの設計基準強度 ($=210 \text{ kg/cm}^2$ とする)

プレストレストコンクリート道路橋示方書では、破壊に関する死荷重の安全率を 1.3 としている。これには、材料に関する安全率の他に将来のオーバーレイ等の死荷重増加に対する考慮、単位重量等のばらつきの考慮が含まれていると考えてよい。耐荷力の算定式の場合には、実橋の寸法を測って計算を行なうこと、オーバーレイ等を行なう場合はその時点で耐荷力を再検討すればよいと考えて、この荷重係数を 1.1 と小さくした。この数字は特に確率的な検討を行なって得たものではない。

5.3.2 主桁、床版の損傷程度に関する調査

調査対象橋梁を近畿地建の管理している橋梁と限定したのは損傷程度に関する調査を担当する人の数を減らし、個人差を少なくする意味があった。

調査は、1 班 2 人づつの 2 班によってなされ、はじめのうちは数橋を一緒に調査し、ランク付けについて両班の間に差が出ないように考慮した。損傷程度について主桁、床版毎に以下に示すような 1~5 まで 5 段階の評価を下した。

なお、着目した部分は、床版の場合最も損傷を受けているパネルとし、主桁の場合は中桁のみとした。主桁のランクおよび床版のランク分けは次表のようである。

表 損傷度ランク分け基準

部材 ランク	主 桁	床 版
1	主桁ウェブの下半分にひびわれが散在する。	微少なひびわれが散在する。
2	ひびわれが床版下面近くまで達している。	多方向にひびわれが生じているが互いにつながっていない。白い石灰分が線状にしみ出している。
3	一部コンクリートが鉄筋からはなれ、ひびわれから鉄筋がみえる。	ひびわれが格子状につながっており、石灰分は面となつてしみ出しており、土の細粒分を含んでいるがこの状態になっているのは一部分である。
4	コンクリートが欠け落ちて、一部スターラップまたは引張鉄筋が露出している。	3 ランクの状態がパネルの 1/3 以上の面積におよぶか、または、一部であってもコンクリートが鉄筋からはなれている状態がみとめられる。
5	コンクリートの欠け落ち、鉄筋の露出が全面的に生じている。	コンクリートが欠け落ち、鉄筋が露出している。舗装表面にも床版の剛性底下に伴うひびわれが発生している。

5.4 調査結果

(1) 耐荷力の算定式に関する調査結果

図-19に、式(4)による r (TL-20に対する主桁の曲げ破壊安全率)の計算結果を、スパンとの関係で示す。これによると、スパンが長くなるに従って破壊に対する活荷重の安全率も大きくなる傾向がある。

コンクリート橋の主桁が曲げに関して、通常の交通に耐えられるかどうかを判断しようとする場合、式(4)は次の様に書き直すことができる。

$$r = \alpha \cdot \beta \quad (6)$$

$$\alpha = \frac{r}{\beta} = \frac{f}{\beta} \cdot \frac{Mu - 1.1Md}{M\ell} \quad (7)$$

ここに α : 活荷重の破壊安全率に着目した耐荷率

β : 橋に必要なTL-20の破壊安全率

ここで、 α の値が1.0を上まわっているか、下まわっているかによってTL-20に対する耐荷力があるかどうかを判定することができる。ただし、 α の値は破壊に対するTL-20の必要安全率 β の値によってきまってくるものである。

β の値は、設計荷重に対する活荷重のばらつきを考慮したものであり、橋梁の重要度、交通量等によってかわってくるものであるが、プレストレストコンクリート道路橋示方書では、2.5としている。

したがって、 β の値は最大でも2.5とすればよいといえよう。図-19には $\beta = 2.5$ とした場合の α の値も()内に示してある。これによると、スパン10m以下の2等橋はほとんどが $\alpha < 1.0$ となっている。

耐荷力の判定式として次の式も考えられる。

$$\alpha_a = \frac{M_o}{M_d + M\ell/f} \times \frac{\sigma_{sa}}{\sigma_{sa}} \quad (8)$$

ここに、 α_a : 鉄筋の許容応力度に着目した耐荷率

M_o : 設計当時の簡易計算法による曲げモーメント (t · m)

M_d : 現在の死荷重による曲げモーメント (t · m)

$M\ell$: TL-20による曲げモーメント (T荷重, L荷重による曲げモーメントのどちらか大きい方)

(t · m)

σ_{sa} : 鉄筋の許容応力度 (= 1,400 kg/cm²)

σ_{sso} : 設計当時の鉄筋の許容応力度 (= 1,200 kg/cm²)

この式は、鉄筋の許容応力度に着目して設計当時の曲げモーメントと現在の曲げモーメントとの比をとったものである。

さらに破壊状態を想定し、曲げ破壊抵抗モーメントと全破壊モーメントとの比をとって同様な式を書くことと次のようになる。

$$\alpha_b = \frac{Mu}{1.1M_d + \beta M\ell/f} \quad (9)$$

参考のために、これら3つの式(7), (8), (9)による耐荷率 α , α_a , α_b をそれぞれ橋梁スパンおよび損傷程度との関係についてプロットしたものを図-20, 21, 22に示す。

ただし、これらの場合はすべて $\beta = 2.5$ として計算している。

これら3つの図(図-20, 21, 22)を比較すると、 α は α_a , α_b よりも急な勾配となっていることがわかる。また、橋梁によってちがいはあるが、一般に $\alpha > \alpha_b > \alpha_a$ の傾向がうかがえる。いずれの式を用いてもこれらの計算式による場合は約半数の橋梁の耐荷率が1.0を下まわっていることがわかる。

また、耐荷率が1.0を下まわる橋梁は、10m以下の短スパンの橋梁に集中しているといえる。

(2) 抵抗曲げモーメントと現在の荷重による曲げモーメントの関係

現在の荷重による簡易計算法を用いた場合の鉄筋の引張応力度が $1,200 \text{ kg/cm}^2$ を下回る橋梁は、1橋もなく、 $1,400 \text{ kg/cm}^2$ を下まわるものは、180橋中17橋、約9%で残り163橋、約91%の橋梁は、これを上まわっている。すなわち、設計当時の考え方で各橋梁をチェックすると、ほとんどの橋梁は、鉄筋の応力度が許容応力度をオーバーすることになる。

集計された橋梁180橋について、桁の曲げ破壊抵抗モーメントと現在の死荷重および活荷重(TL-20)による曲げモーメントの関係をプロットしたものが図-23である。計算はすべて簡易計算法によった。この図から両者は、比較的良好な比例関係にあるといえる。

また、プロットされた点は大部分が、 $M_u = 1.7 M$ の線よりも下側にきている。この図から曲げモーメントの小さい橋梁程(スパンの短かい橋梁程)この線を下回るものが増えることがわかる。

(3) 主桁、床版の損傷程度

主桁および床版の損傷程度を1から5まで各段階に分けてヒストグラフに示したものを図-24、25に示す。

この結果から、ランク3以上の比較的大きな損傷を受けている橋梁は少ないことがわかる。また、主桁と床版を比較すると主桁が損傷を受けているケースの方が幾分多くなっている。

橋梁が損傷を受けたために補修・補強を行なった件数を図-26に示す。これをみても主桁に関する件数の方が多い。工法別にみると、主桁の補修・補強は、モルタルによるものが最も多く19橋中14橋にのぼっている。これらは、モルタル吹き付けによるもの(ショットクリート)7橋とモルタルを塗り付けたもの7橋に分けられる。(図-27)

主桁の損傷について特徴的なことは、中桁に対して耳桁の損傷程度が大きいことである。中桁が1~2のランクに入るもので耳桁だけが3または4のランクに入るものが12橋報告されている。図-26の中では、中桁での評価が数えられているので、これら耳桁だけが損傷を受けている橋梁は図の中では損傷を受けていない桁として数えられている。

すなわち、一般的に耳桁の方が中桁より損傷を受けやすいといえる。耳桁は、雨水を吹き付けられることが多い上、高欄からの水がコンクリート表面を伝って流れてくることもあって、水の影響を受けやすい。このため、鉄筋の腐食や凍結、融解等による損傷が生じやすいとえられる。

損傷程度と計算式による耐荷率との関係を見るため、図-20、21、22を参照するといずれの式についても、両者は無関係であることがわかる。

6. 鉄筋量、鉄筋位置の推定のための調査

6.1 目 的

一般にコンクリート桁の抵抗曲げモーメントは、用いられている引張鉄筋の量と降伏応力度によって大きな影響を受ける。

コンクリート橋に関する一般的な調査の結果、古いコンクリート橋については、ほとんど設計図書が保存されていないことがわかり、主桁の引張鉄筋量およびその図心位置は大部分推定によらざるを得ない。そこで、昭和30年以前に架設されたコンクリート橋で、設計図書が残っているものについて、実際の鉄筋量およびその図心位置と推定式による鉄筋量およびその図心位置との比較を行ない、これらの推定式の妥当性を調べるとともにカブリ、鉄筋段数等についても資料を得ようとしたものである。

6.2 対象橋梁

この調査は、次の3つの条件をすべて満足している橋梁について行なった他、載荷試験の対象となった橋梁についても実施した。

- 1) 昭和30年以前に架設され、現在も供用されていて、設計図書の保存されている橋梁
- 2) スパン5m以上の橋梁
- 3) 単純、ゲルバーまたは連続桁で、T形断面のコンクリート橋

調査集計した橋梁数は次の通りである。

単純 T 桁 橋	65 橋
ゲルバー 橋	17 "
連 続 桁 橋	8 "
合 計	80 橋

6.3 調 査 内 容

調査内容は次のようなものである。

- 1) 一般的事項の調査

架設年月、適用示方書、等級、橋梁形式、径間長、橋長、幅員、現存する設計図書の内容、交通量関係の項目

- 2) 図 書 調 査

主桁本数、斜角、桁高、床版厚、ウェブ幅、舗装厚（当初現在）、中間横桁本数、主桁間隔、床版張出し長、ハンチの形状、引張鉄筋（直径、本数、かぶり、段数）、スターラップ（径、間隔）、床版主鉄筋の方向

- 3) 引張鉄筋量の比較計算（耳桁、中桁各々について）

設計当時の曲げモーメント、図書に示される許容応力度、主桁断面の有効高さ、実際の引張鉄筋量、推定式による引張鉄筋量、断面図

6.4 調 査 結 果

- 1) 引張鉄筋の図心位置の推定式

図-28に主桁断面の有効高さ d_r とその推定式による値 d との関係を示す。これによると下記の有効高さの推定式は非常によく実際の有効高さに近似できることがわかる。

$$d = H - 10 \text{ (cm)}$$

2) 引張鉄筋量の推定式

図-29に主桁有効高さ h と床版厚 t の関係を示す。これによるとかなり床版厚が厚く、中立軸が床版内に入って矩形断面とみなせるものも多いことがわかる。T形断面か、矩形断面かは鉄筋量によってかわってくるが、次のような鉄筋量の推定式を与えて実際の鉄筋量との比較を行なった。

結果は、図-30に示す。式-(7-a)は、(3)式と同じであるが、式-(7-b)は新たにこの調査で作ったものである。

$$t \leq \frac{1}{4.5} d \text{ のとき } A_s = \frac{M_o}{\sigma_{sao}(d-t/2)} \quad (7-a)$$

$$t > \frac{1}{4.5} d \text{ のとき } A_s = \frac{9}{8} \times \frac{M_o}{\sigma_{sao} \cdot d} \quad (7-b)$$

ここに、 t : 床版厚 (cm)

d : 有効高さの推定値 (cm) $d = H - 10$ (H は桁高)

M_o : 設計当時の曲げモーメント (kg/cm)

σ_{sao} : 設計当時の鉄筋の許容引張応力度 ($= 1200 \text{ kg/cm}^2$ とする)

図-30に示す結果によると、プロットされた点は A_{sr} (実際に配置された鉄筋量) $= A_s$ (推定鉄筋量) の値のまわりに分布している。したがって、平均的な推定値として式-(7-a)、(7-b)を使うことができるといえよう。また、この図から実際の鉄筋量が推定鉄筋量を下まわるものが多く、80%程度のものも少なくない。また、同様に125%程度になっているものもある。このばらつきは、等級のミス判断等、別な要子が考えられるのでその面からさらに検討を加えることにして、今回の検討では一応推定に関する安全率は考えなかった。

また、参考のために桁高 (H) と径間長 (l) の関係を図-31に、床版厚 (t) と床版純支間 (a) の関係を図-32に示した。

3) 耐荷率 (α , α_a , α_b) の比較

耐荷率 α , α_a , α_b の各値を実際の鉄筋量を用いた場合について、図-33, 34, 35に示した。また、これらの値を全曲げモーメントに占める死荷重曲げモーメントの関係で示したのが図-36である。

この時 $\beta = 2.5$ とした。また、載荷の仕方による差を除くためここではすべて中央並列載荷の α を用いて計算している。

これらの図からいえることは、

- (1) α_a , α_b , α の順に耐荷率の値がはなれてくる。
- (2) α_a , α_b , α の順で耐荷率が大きな値となる傾向がある。
- (3) 実際の鉄筋量については、 $\alpha_1 < \alpha_2$ すなわち、計算による耐荷率が実験によるものよりも常に小さくなっている。

鉄筋推定の誤差が耐荷率にどのようにひびくかをみるために図-37に示す。これによると耐荷力の計算結果へ与える鉄筋量推定値の誤差の影響はかなり大きいことがいえる。

4) 設計時の鉄筋許容応力度について

鉄筋の許容応力度は、当時の設計図書によるとつぎのようなものであった。

※) 例えば表-7によると設計当時の鉄筋応力度が当時の許容量 (1200 kg/cm^2) を上まわっている橋

梁が17橋中4橋 (AASHOによる橋梁を除く) ある。

	1200Kg/cm ² のもの	1300Kg/cm ² のもの
大正15年示方書	39橋	0橋
昭和14年示方書	36橋	10橋
AASHO(沖縄のみ)	5橋	0橋
合 計	80橋	10橋

以上のことより一般に昭和14年の示方書であっても $\sigma_{sao} = 1200 \text{ kg/cm}^2$ として、鉄筋量の推定等の計算をしてさしつかえないといえよう。

7. β (橋に必要な TL-20 に対する破壊安全率) の検討

7.1 β の検討

耐荷力判定に用いる β の値は今後の供用年数および交通量によって合理的に選定することが望ましい。

今回は 2 次モーメント法 (Second moment method) に基づいて今後の残された供用期間中に通る最大輪荷重を確率論的に求め、道路橋示方書に示されている T 荷重に対して、その橋梁が必要とする破壊安全率 β を求める曲線を図-38 に提示する。

附図-14 に示すように耐荷力の不足する橋梁は短スパンのものに多く、主桁も T 荷重の方が L 荷重より大きいものが大部分である。また、実際の橋梁は少なくとも上下 2 車線の車道幅員があり、厳密に破壊を議論するためには 2 台並列の状態を扱うべきであるが、同時載荷に関するデータがほとんど無いため、今回は先ず統計的処理のしやすい T 荷重 1 台について検討した。

β の値は、破壊確率 (2 次モーメント法では安全性指標 Safety Index で表わされる) のとり方によってどのようにも変化するが交通量との関係を示す曲線の形状は安全性指標の値を変えても全体に移動するだけで、ほとんど相似である。

そこで、新しく設計される橋は 50 年の耐用年数で交通量 25,000 台/日・車線であるとし、この時の β を 2.5 として他の条件の時の β を求めることにした。

計算は次のように行なった。

(1) 輪荷重の資料

昭和 45 ~ 47 年度 (第 24 回 ~ 26 回) 建設省技術研究会道路部門指定課題「全国輪荷重実測調査」の結果を用いて、1 t 以上の輪荷重の交通台数のヒストグラフを使用し、輪荷重の分布関数は次の指数関数と仮定した。

$$f_1(x) = \lambda e^{-\lambda x}$$

$$\lambda = 0.8715$$

(2) 残された供用期間中の最大輪荷重の分布

残された供用期間中の全交通量

$$N = M \times 365 \times m$$

M: 今後に残された供用年数

m: 1 日 1 車線当り交通量

供用期間中の最大輪荷重の関数形

$$f_2(x) = \alpha \exp \{ -\alpha(x-u) - e^{-\alpha(x-u)} \}$$

ここに、 u : $f_1(x)$ の超過確率が $\frac{1}{N}$ となる点

$$\alpha: N, f_1(u)$$

(3) β の値の計算

$$\beta = (\exp(0.75^2 \cdot S \cdot V_T)) \frac{\bar{T}}{T_{20}}$$

ここに、 β : 橋に必要な T-20 に対する破壊安全率

S: 安全性指数 (Safety Index)

V_T : 輪荷重 ($f_1(x)$) の変動係数

$\bar{T}$: 最大輪荷分布 ($f_2(x)$) の平均値

T_{20} : 設計輪荷重 (= 8 t)

7.2 補正した β を用いた耐荷率

図-19, 20は, β を2.5として示してある。このため耐荷率は一様に低くなっており, $\alpha < 1.0$ の橋が45%にのぼっている β を各路線の交通量, 残存供用年数を考慮して定めた場合の耐荷率を図-39に示す。当然ながら $\alpha < 1.0$ の橋梁数は減少する。

図-19には, $\beta = 2.5$ としたときの α の値を橋の等級, 適用示方書別にプロットした。図-19, 39よりスパン10m以下の2等橋耐荷力の不足する橋梁が多いことがわかる。

8. 耐荷力算定指針(案)

以上の調査結果から、コンクリート橋の主桁の曲げ耐荷力の算定指針(案)を以下に提示する。

1 適用の範囲

この耐荷力算定方法は、T形断面の鉄筋コンクリート橋のうちそれ程大きな損傷を受けていない橋梁に適用する。

今回の調査で耐荷力が問題となるコンクリート橋では、T形断面の橋梁が多く、今回はこの形式の主桁の耐荷力算定法について検討した。

損傷程度に関する調査の結果、大きな損傷を受けている橋梁は少ないことがわかった。そこで、鉄筋が腐食して、そのために断面欠損を考慮する必要があったり、かぶりコンクリートが剝離しており鉄筋の付着力の減少を考慮する必要があったりするような、大きな損傷を受けている橋梁の耐荷力は検討から除外した。

2 耐荷力算定計算に必要な数値

1. 橋梁のスパン、幅員、設計当時および現在的主桁、床版、舗装等の断面寸法を、設計図書がある場合には設計図書から、設計図書がない場合は実測によって求める。
2. 桁の有効高さおよび鉄筋量は、設計図書のある場合は設計図書によるものとするが、設計図書が無い場合またはあっても計算に用いるには不十分な場合は、次式によって推定するものとする。

$$\text{有効高さ} \quad d = H - 10 \text{ (cm)}$$

$$\text{鉄筋量} \quad t \leq \frac{d}{4.5} \text{ のとき} \quad A_s = \frac{M_o}{\sigma_{s80} (d - t/2)}$$

$$t \geq \frac{d}{4.5} \text{ のとき} \quad A_s = \frac{9}{8} \cdot \frac{M_o}{\sigma_{s80} \cdot d}$$

ここに d : 有効高さ (cm)

H : 桁 高 (cm)

t : 床版厚 (cm)

M_o : 設計当時の曲げモーメント (簡易計算法による) (kg・cm.)

σ_{s80} : 許容応力度 (= 1200 kg/cm² とする)

一般に古いコンクリート橋については、設計図書が無いことが多いので耐荷力算定に必要な諸元の推定方法を示した。

M_o の計算では、活荷重による曲げモーメントは設計当時の示方書に示されている荷重を用いる。

死荷重による曲げモーメントでは、当時の舗装厚などが不明の場合、安全側に小さめの荷重を仮定することが望ましい。

例えば橋の上に厚い土層が乗っているような場合は、途中で道路計画高の変更等があったと考えられるので、土の重量は除いて M_o を計算する必要がある。

3 耐荷力の算定式

1. 主桁の耐荷力

主桁の曲げ耐荷力は、次に示す現行設計活荷重 (TL-20) に対する曲げ破壊安全率をもって表わす。

$$r = f \cdot \frac{Mu - 1.1 Md}{M\ell}$$

$$Mu = As \cdot \sigma_{sy} \left(d - \frac{1}{2} \cdot \frac{As \cdot \sigma_{sy}}{0.85 \sigma_{ck} \cdot b} \right)$$

ここに r : TL-20 に対する主桁の曲げ破壊安全率

f : 実測・計算応力比

Mu : 桁の破壊に対する抵抗曲げモーメント (t-m)

Md : 現在の死荷重による曲げモーメント (t-m)

$M\ell$: TL-20 による曲げモーメント (t-m)

As : 引張鉄筋量

σ_{sy} : 鉄筋の降伏応力度 (= 2400 kg/cm² とする)

d : 有効高さ (cm)

σ_{ck} : コンクリートの設計基準強度 (= 210 kg/cm² とする)

b : 圧縮フランジの有効幅 (cm)

2. 橋梁の耐荷力

上式を用いて中桁、耳桁各々の耐荷力 (活荷重の曲げ破壊安全率) を求め、それらの最小値をもってその橋梁の耐荷力とする。

4. 耐荷力の算定方法とその選定

1 耐荷力の算定方法は次の4つが考えられる。ここで、 δ_o , σ_o , $M\ell$ は同じ計算方法 (簡易計算法又は荷重分配法) によるものとする。

(1) 第1の方法

簡易計画法によって、 $M\ell$ を求め $f = 1.4$ として r を計算する。

(2) 第2の方法

主桁の荷重分配作用を考慮して $M\ell$ を求め、 $f = 1.0$ として r を計算する。

(3) 第3の方法

荷重車を橋梁に載荷して、たわみを測定する。 $f = \delta_o / \delta = (\text{たわみの計算値} / \text{たわみの実測値})$ として r を計算する。

載荷の種類は少なくとも中央並列、中央1列、片側1列とし、それぞれの桁にとって最も厳しい位置に載荷する。中桁については、中央並列、中央1列の値を平均して f とする。

(4) 第4の方法

第3の方法と同様に荷重車を載荷して、鉄筋のひずみを測定する。 $f = \sigma_o / \sigma = (\text{応力度の計算値} / \text{応力度の実測値})$ として r を計算する。

2. 耐荷力算定方法の決定法

下記に示す耐荷率 α を計算し、 α が 1.0 を越えるまで各方法によって (1) から (4) まで順次計算を行なう。 α が 1.0 を越えたら、その橋梁は必要な破壊安全率を有しているとしてそれ以後の計算を省略できる。

4つの方法によるすべての α の値が 1.0 より小さい場合は第4の方法による r をその橋梁の活荷重破壊安全率とする。

$$\alpha = \frac{r}{\beta}$$

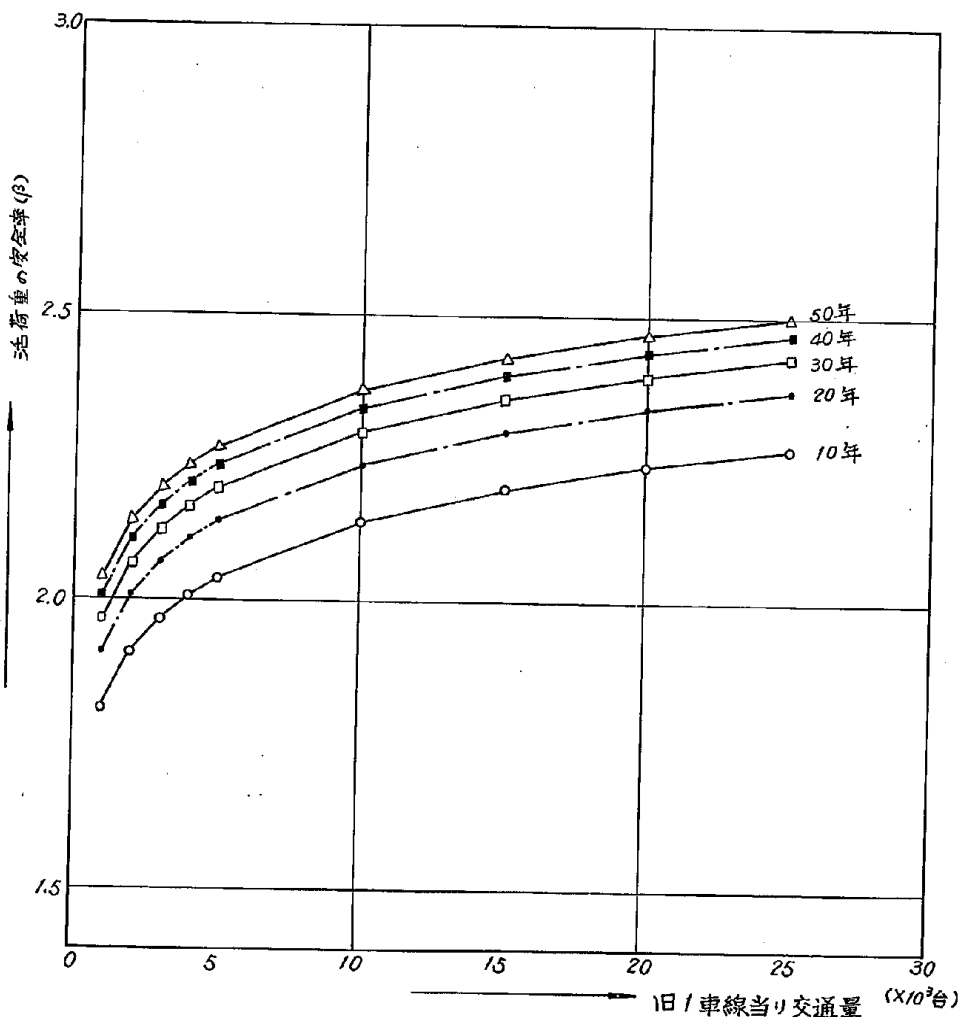
ここに α : 耐荷率

β : その橋梁に必要な TL-20 に対する破壊安全率

r : TL-20 に対する破壊安全率

r の値は、実測、計算応力度比 f および活荷重による曲げモーメント M の値によってかわってくる。また、 r の値は、方法 1 から 4 までしだいに精度が上がっていき破壊安全度も大きくなる反面しだいに複雑になっている。すなわち、第 1 の方法から第 4 の方法までのどの方法までを行なうかを定める必要がある。

β の値は、活荷重のばらつきを考慮したものであり、橋梁の重要度、交通量等によって決められる値であるが次の図を用いて決めてよい。



活荷重安全率と交通量、今後の供用年数との関係

ここに示す β の値は、T荷重に対するものであるがL荷重で決まる橋梁についても便宜上同じ値を用いてもよい。

以上の算定方法を実際に載荷試験を行なった37橋について試みたのが表-9、10である。ただし、 β についてはすべて2.5としている。

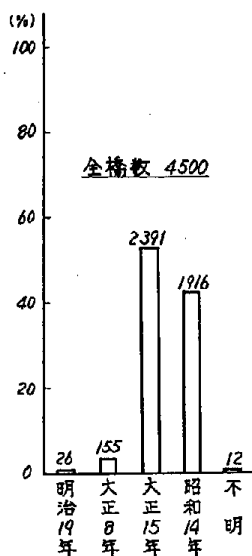
各方法の算定結果は図-39に示す。これをみると、第1の方法の算定で α が1.0より下まわり第2の方法の算定で1.0を上まわるような橋梁は比較的少ないと考えられる。

したがって、実橋の場合には、第2の方法を省略して第3の方法、第4の方法へと進むことも考えられる。さらに第3の方法では α が1.0を下まわったため、あらためて第4の方法を行なう可能性を考えて、第3、第4の方法を同時に行なう。すなわち、たわみと応力の実測を同時に行なってしまうことが現場の判断としてより適切な場合もあると考えられる。

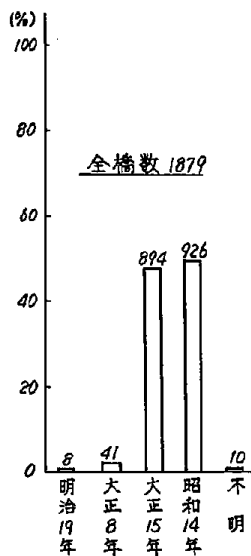
実橋においては、第1の方法から第4の方法まで各ステップを効果的に適用しながら各橋梁の耐荷力を把握していくことが大切であろう。

図 お よ び 表

(一般国道全体)



(指定区間)



(指定区間以外)

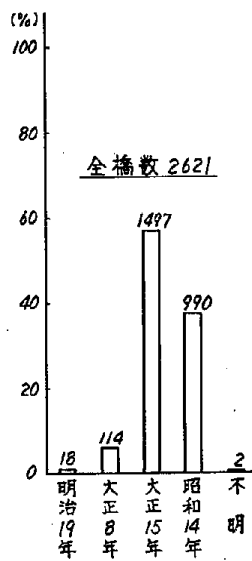


図-1 適用示方書別橋数

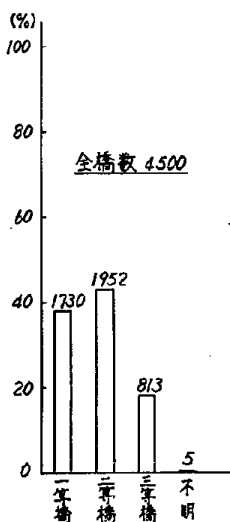


図-2 等級別橋数

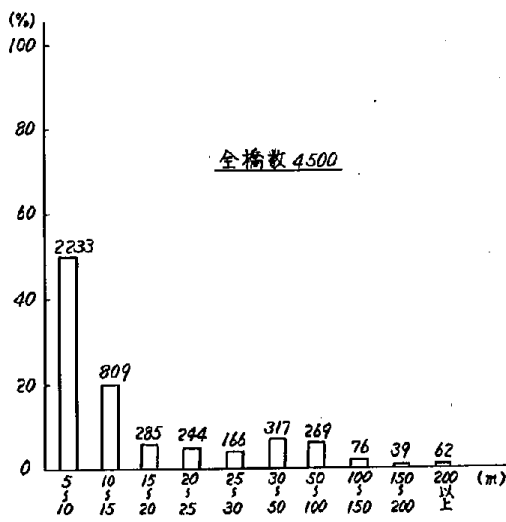


図-3 橋長別橋数

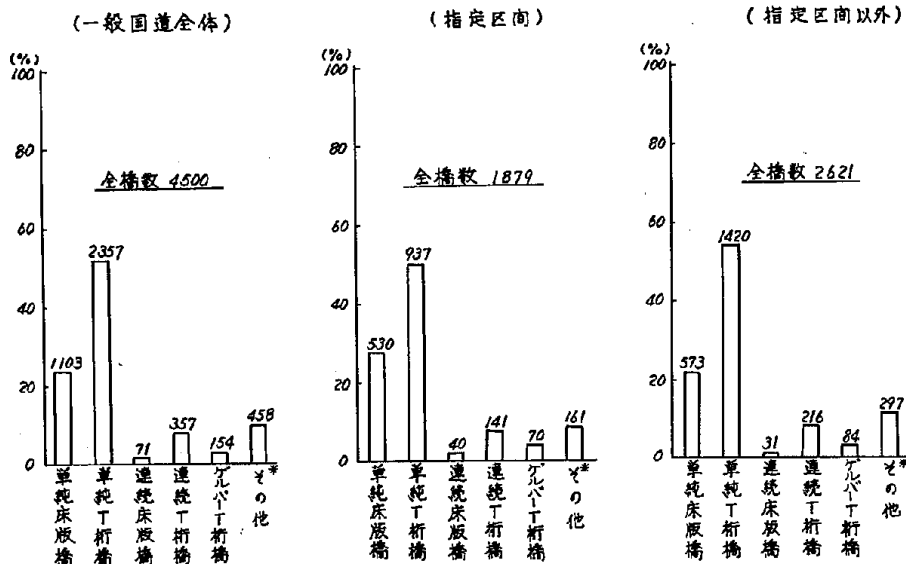


図-4 橋梁形式別橋数

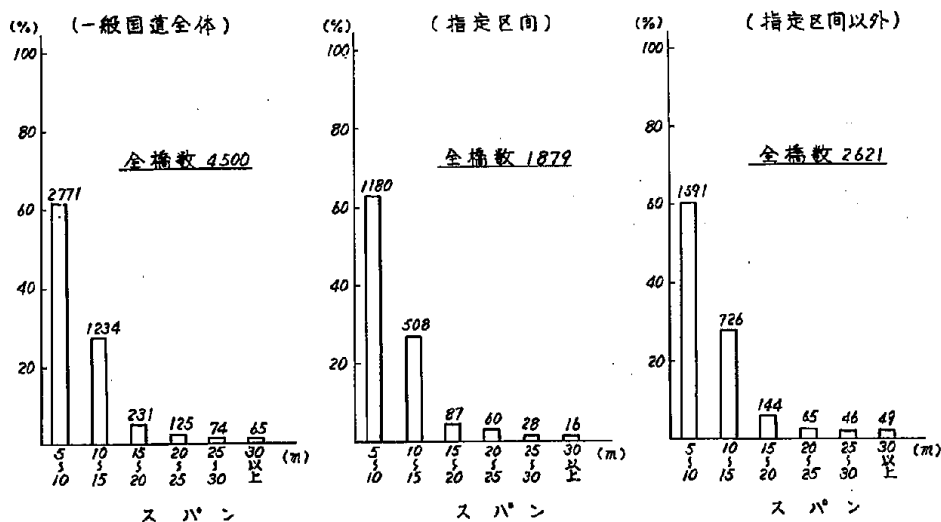


図-5 支間別橋数

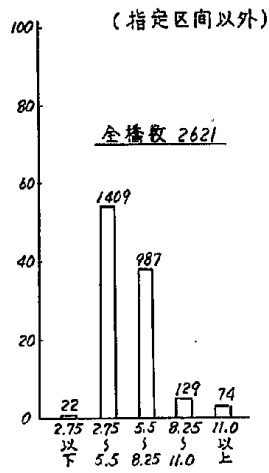
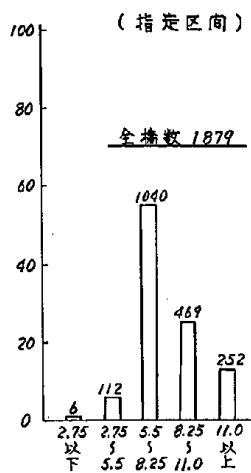
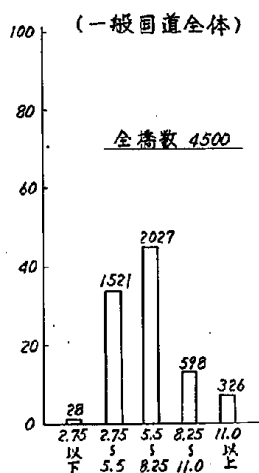


図-6 車道幅員別橋数

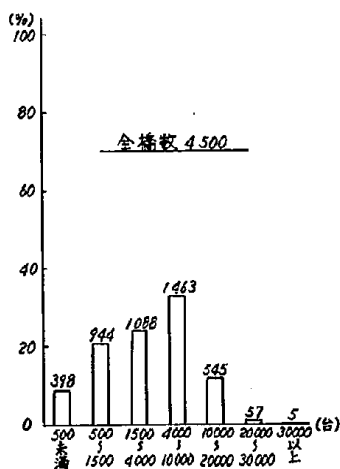


図-7 交通量別橋数

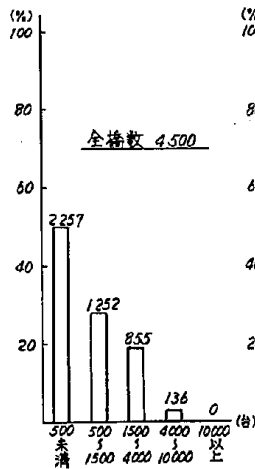


図-8 大型車交通量別橋数

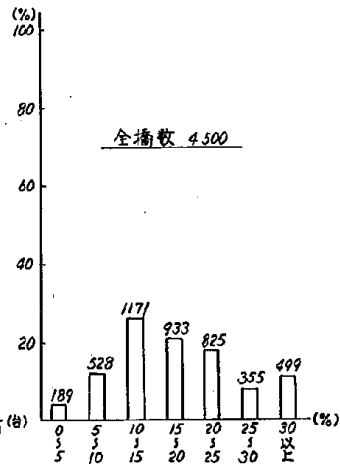


図-9 大型車混入率別橋数

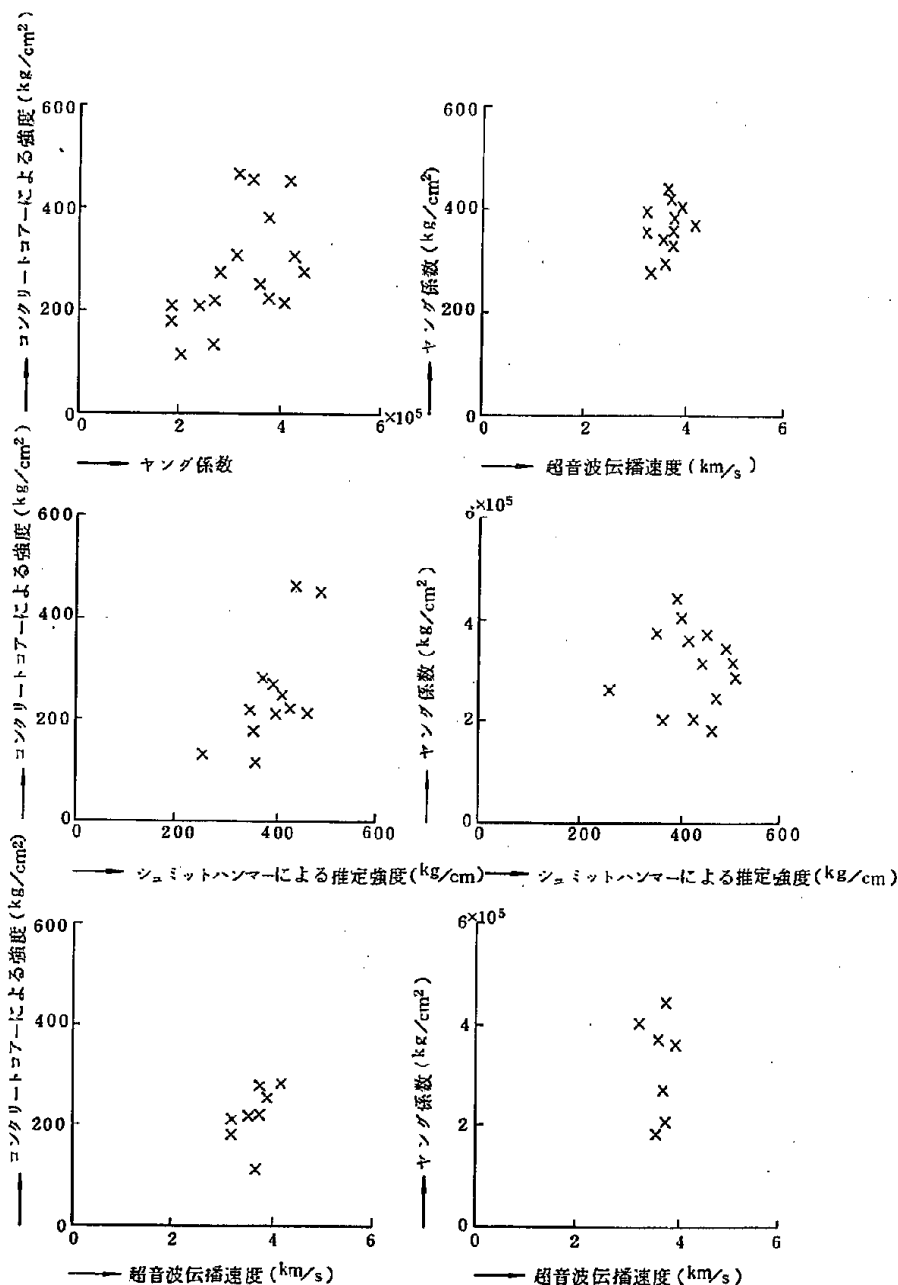


図-10 コンクリートに関する諸試験値の相互関係

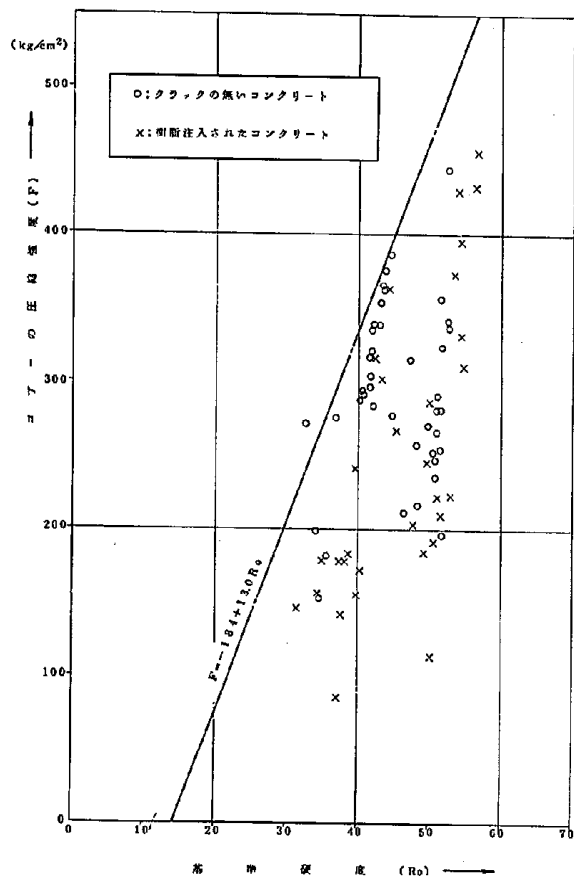


図-11 シュミットハンマーによる硬度～コアの圧縮強度

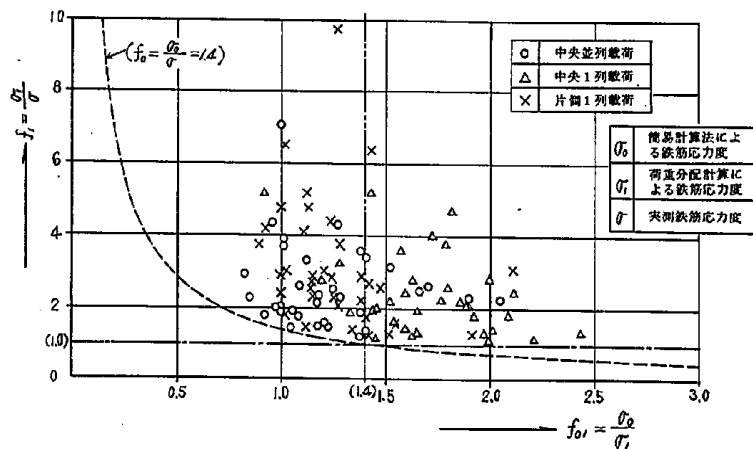


図-12 鉄筋の応力度比 ($\frac{\sigma_0}{\sigma_1} \sim \frac{\sigma_1}{\sigma} \sim \frac{\sigma_0}{\sigma}$)

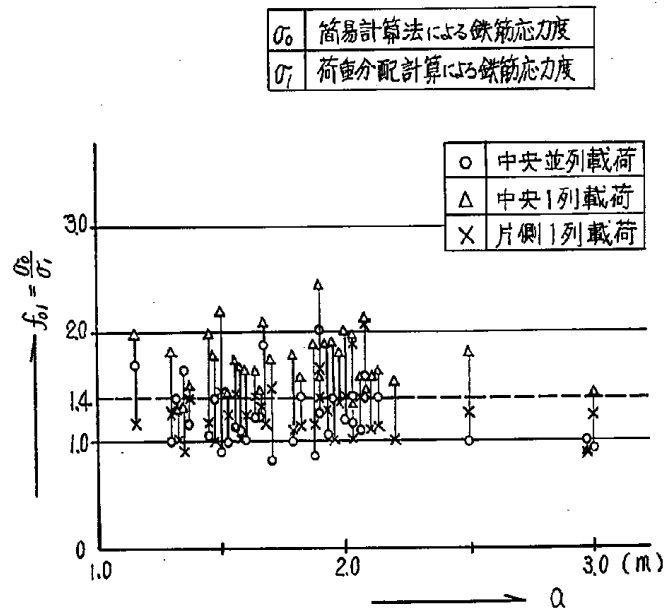


図-13 鉄筋の応力度比 (σ_0/σ_1) ~ 主桁間隔 (a)

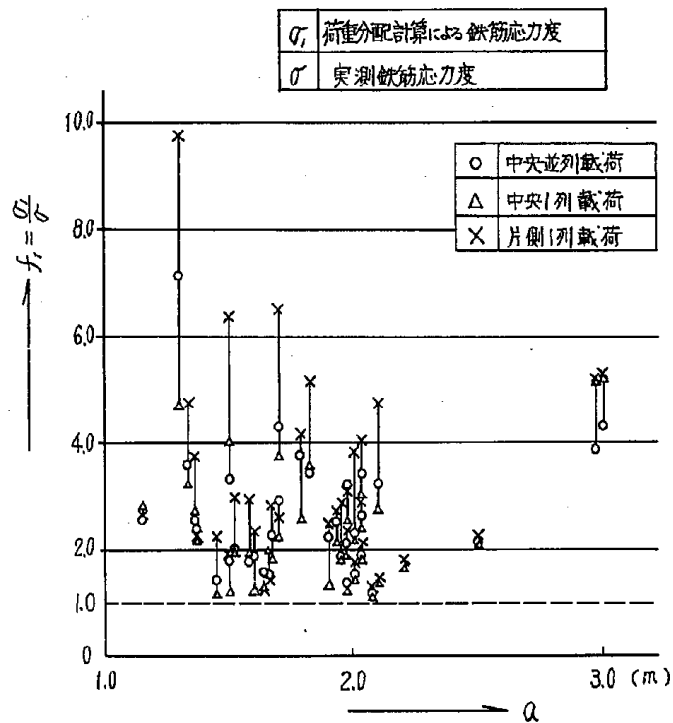


図-14 鉄筋の応力度比 (σ_1/σ) ~ 主桁間隔 (a)

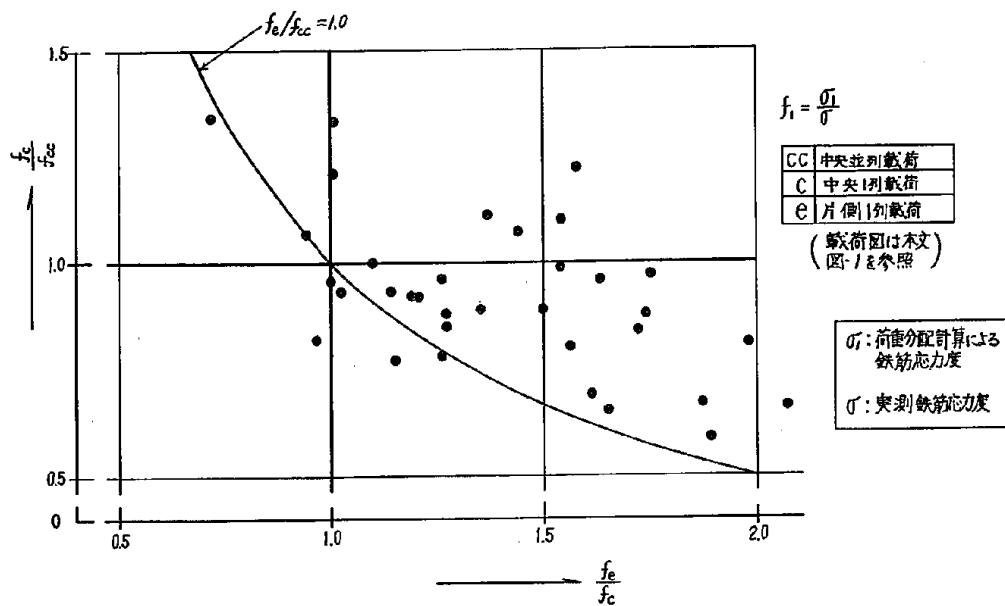


図-15 荷重分配計算による応力度と実測応力度の比(載荷方法別比較)

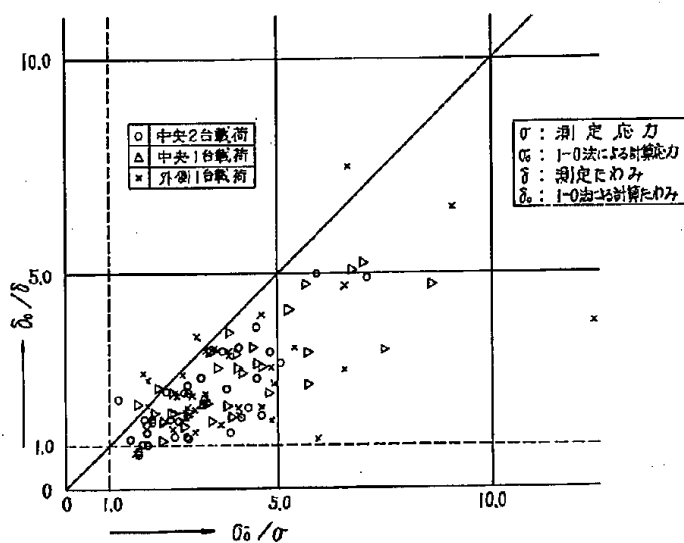
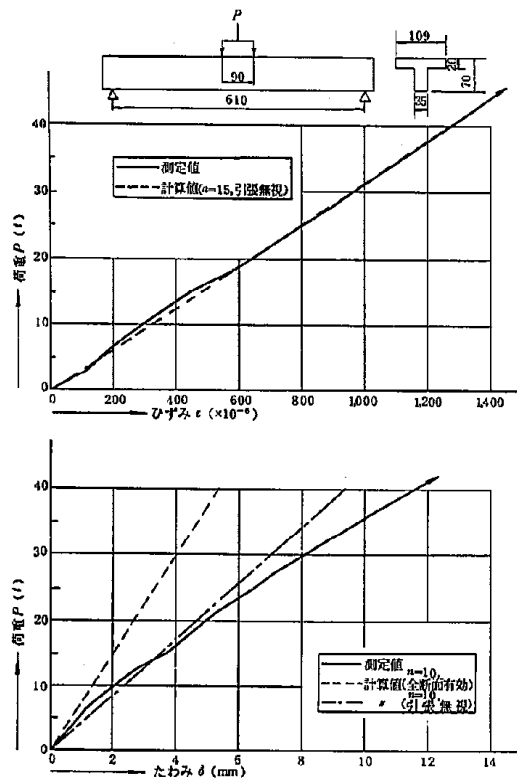


図-16 鉄筋応力度～たわみ比 (f 値: 簡易計算値/実測値)

(間内橋第1げた)



(間内橋第2げた)

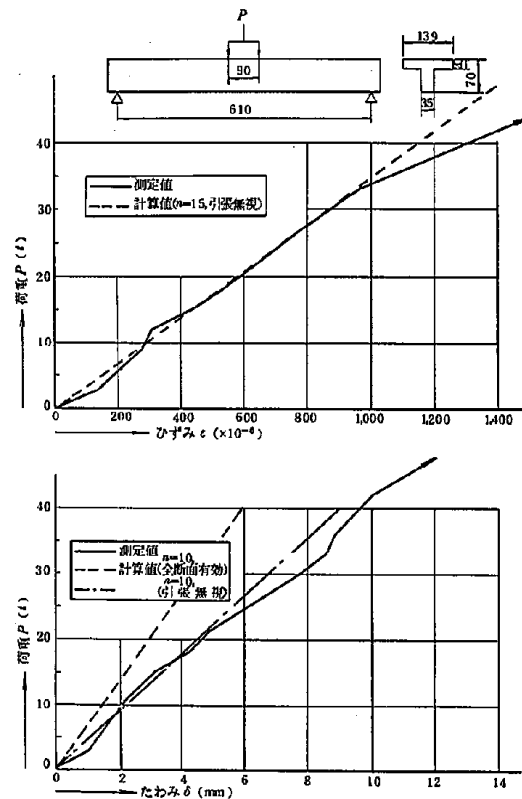
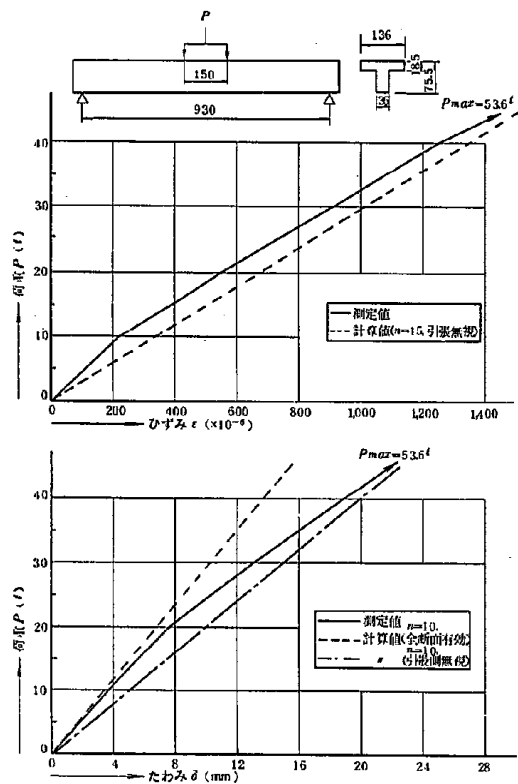


図-17-(1) 束げた供試体の荷重と鉄筋ひずみおよびたわみとの関係

(荒井橋第 2 げた)



(荒井橋第 3 げた)

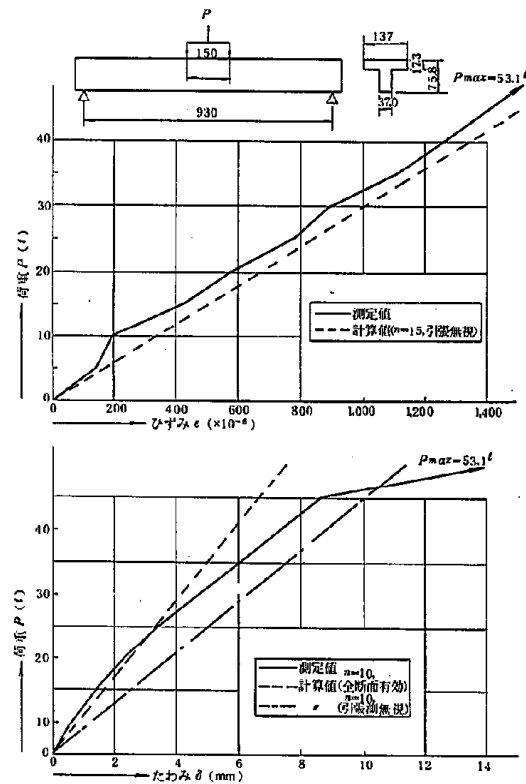
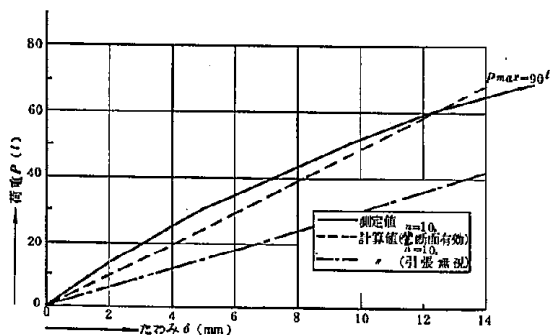
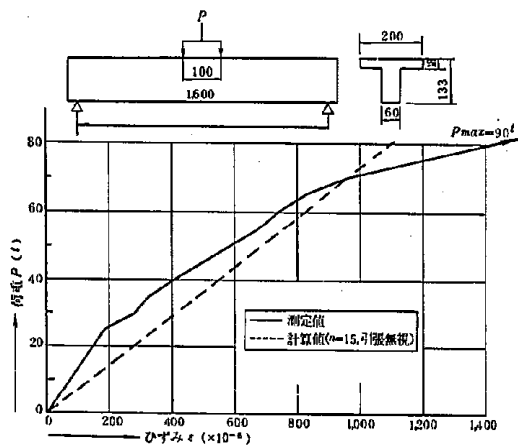


図 17-(2) 実げた供試体の荷重と鉄筋ひずみおよびたわみとの関係

(恩根内橋)



(紅葉橋)

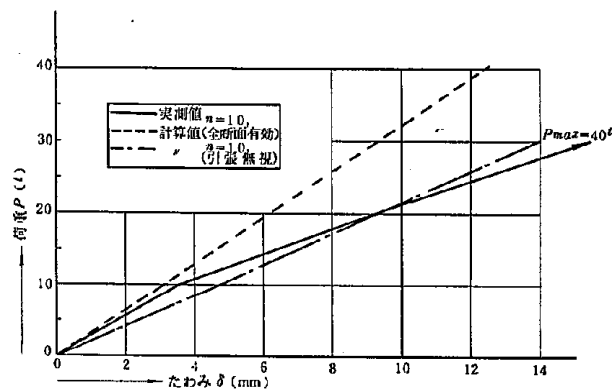
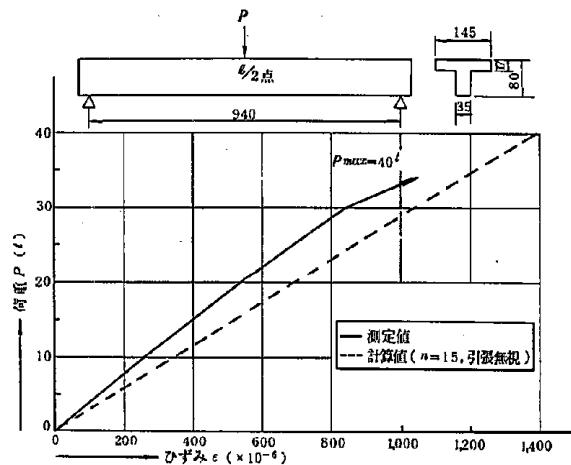


図-17 (3) 実げた供試体の荷重と鉄筋ひずみおよびたわみとの関係

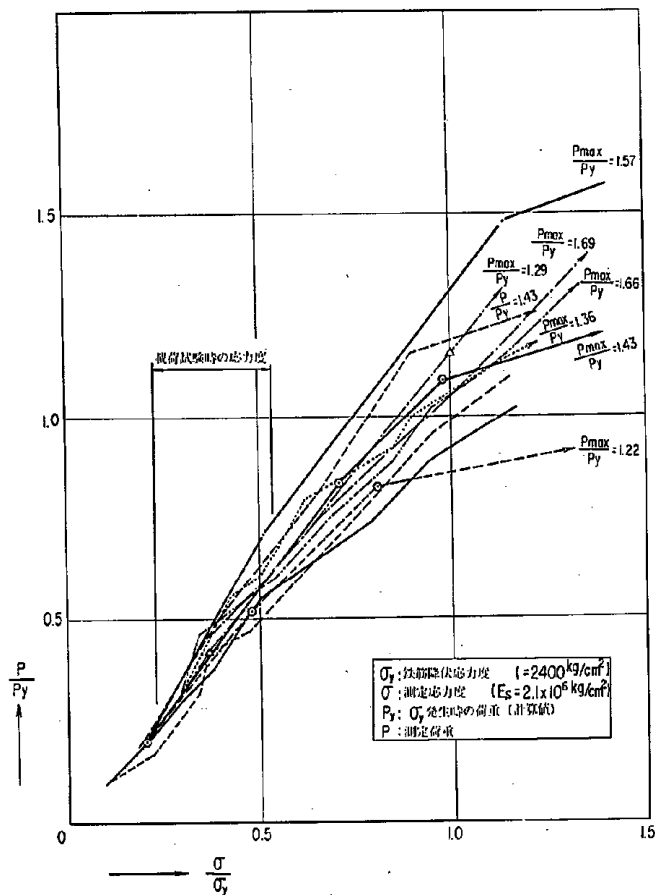


図-18 実荷破壊実験における荷重比 (P/P_y) ~ 応力比 (σ/σ_y)

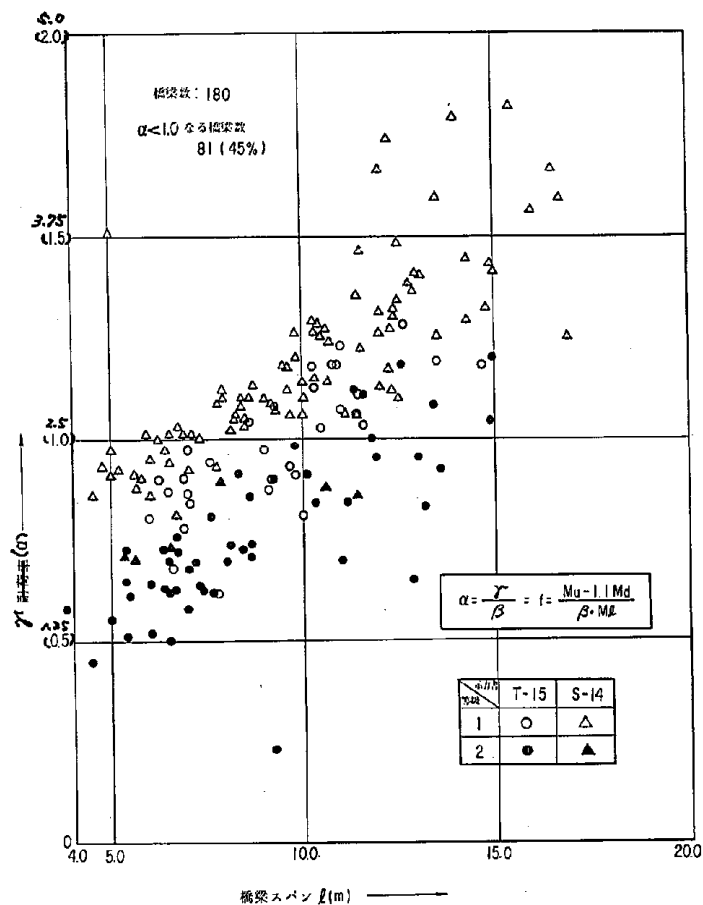


図-19 耐荷力計算結果 ($\beta = 2.5$ の場合)

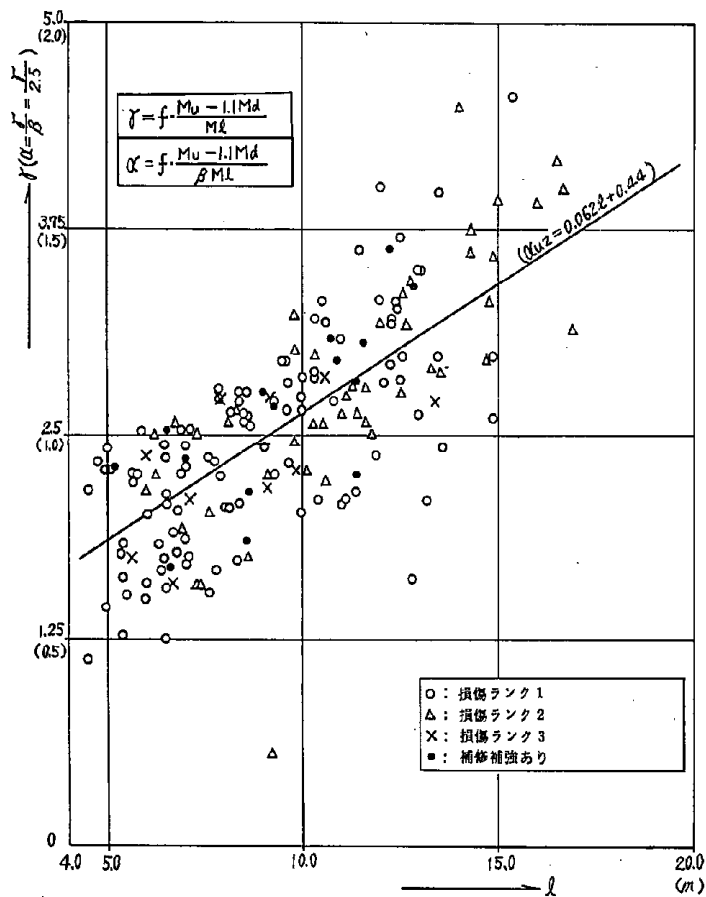


図-20 耐荷率(α)～スパン(l)

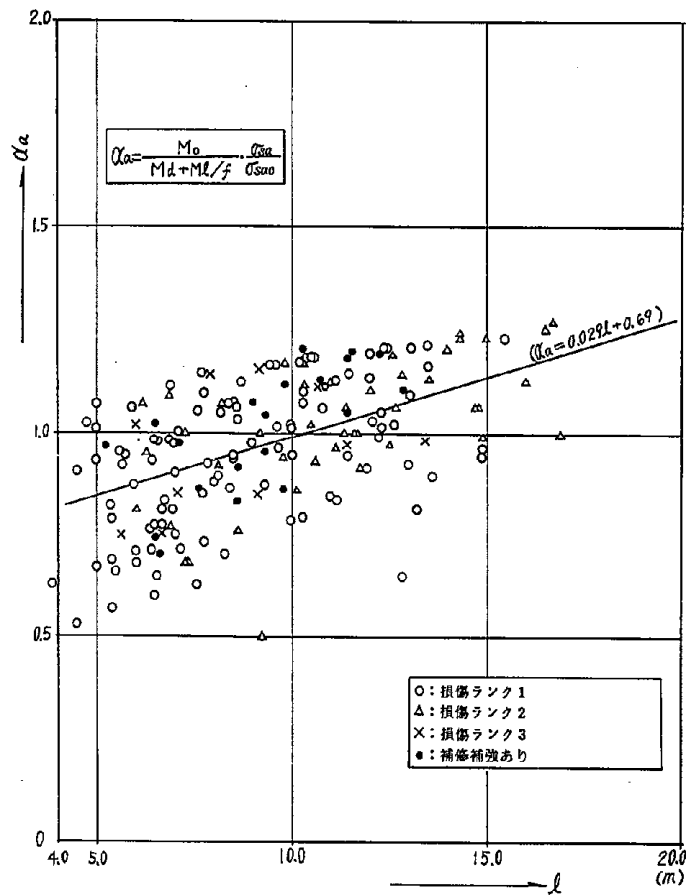


図-21 耐荷率(αa)～スパン(l)

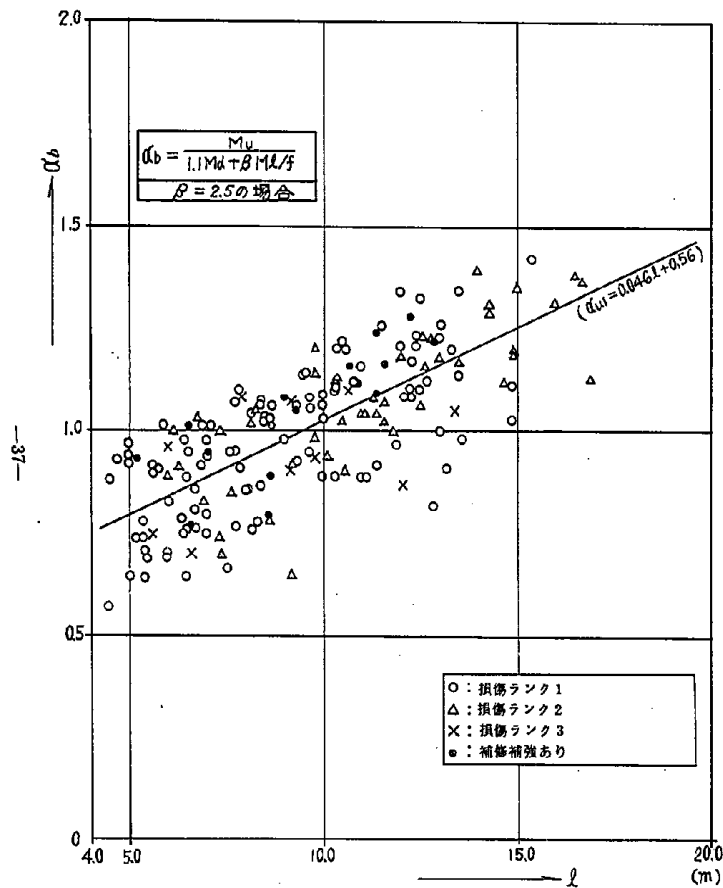


図-22 耐荷率(α_b)～スパン(l)

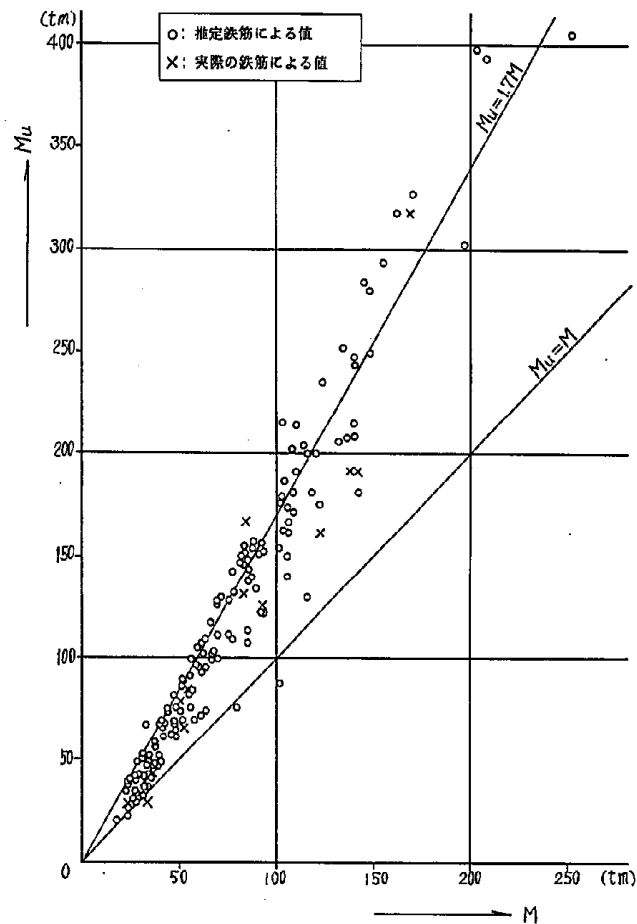


図-23 曲げ破壊抵抗モーメント(M_u)～現行荷重による曲げモーメント(M)

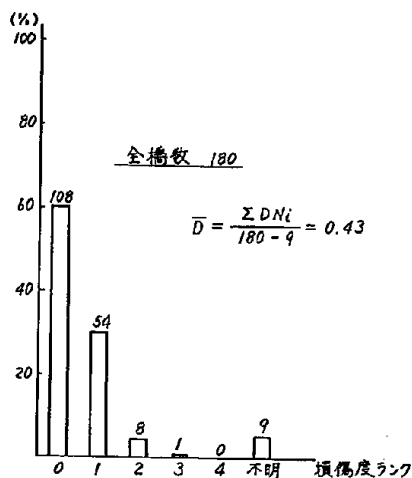


図-24 主桁の損傷程度

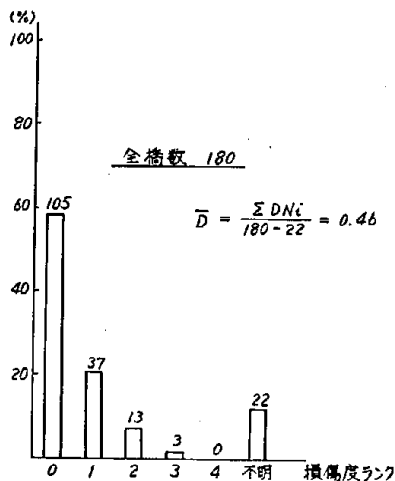


図-25 床版の損傷程度

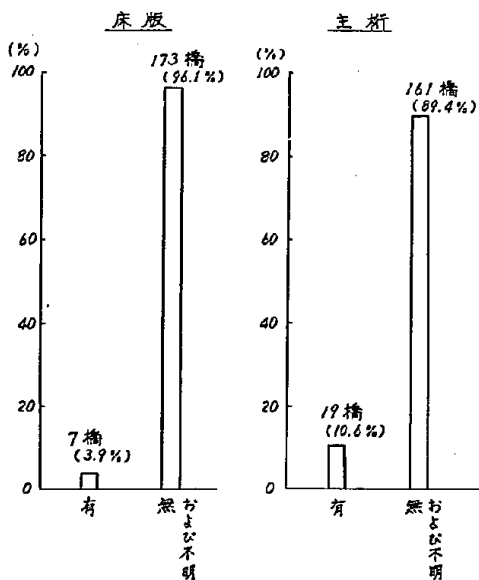


図-26 補修補強の有無別橋数

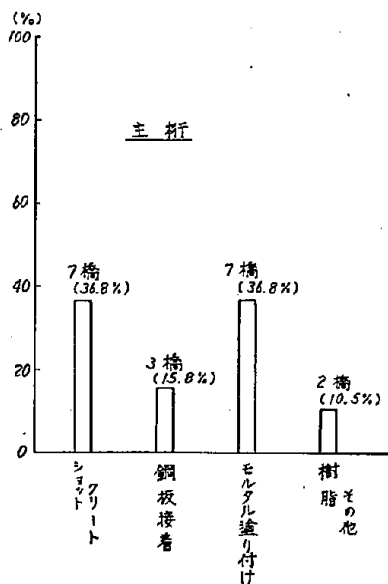


図-27 補修補強の工法別橋数

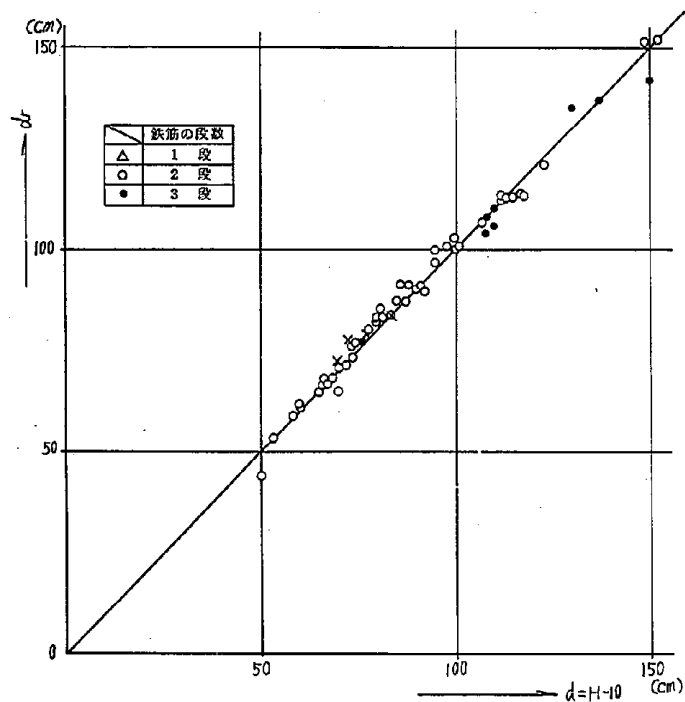


図-28 実際の有効高さ(d_r)～推定式による有効高さ d

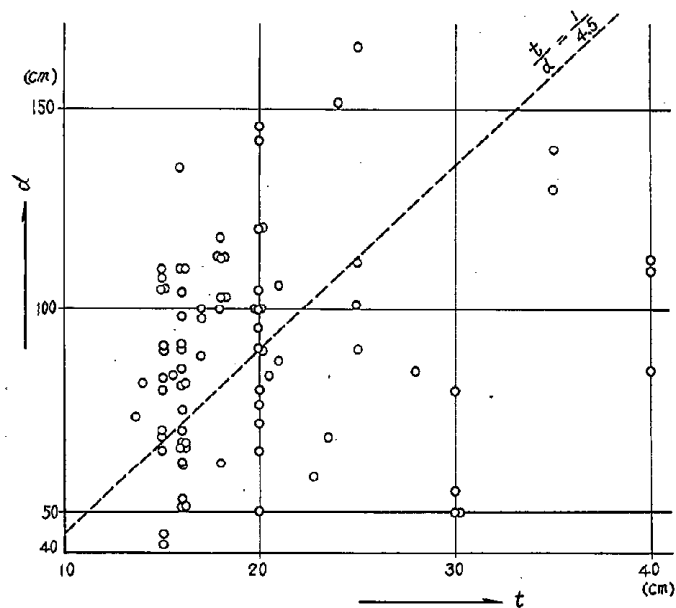


図-29 主筋有効高さ(d)～床版厚(t)

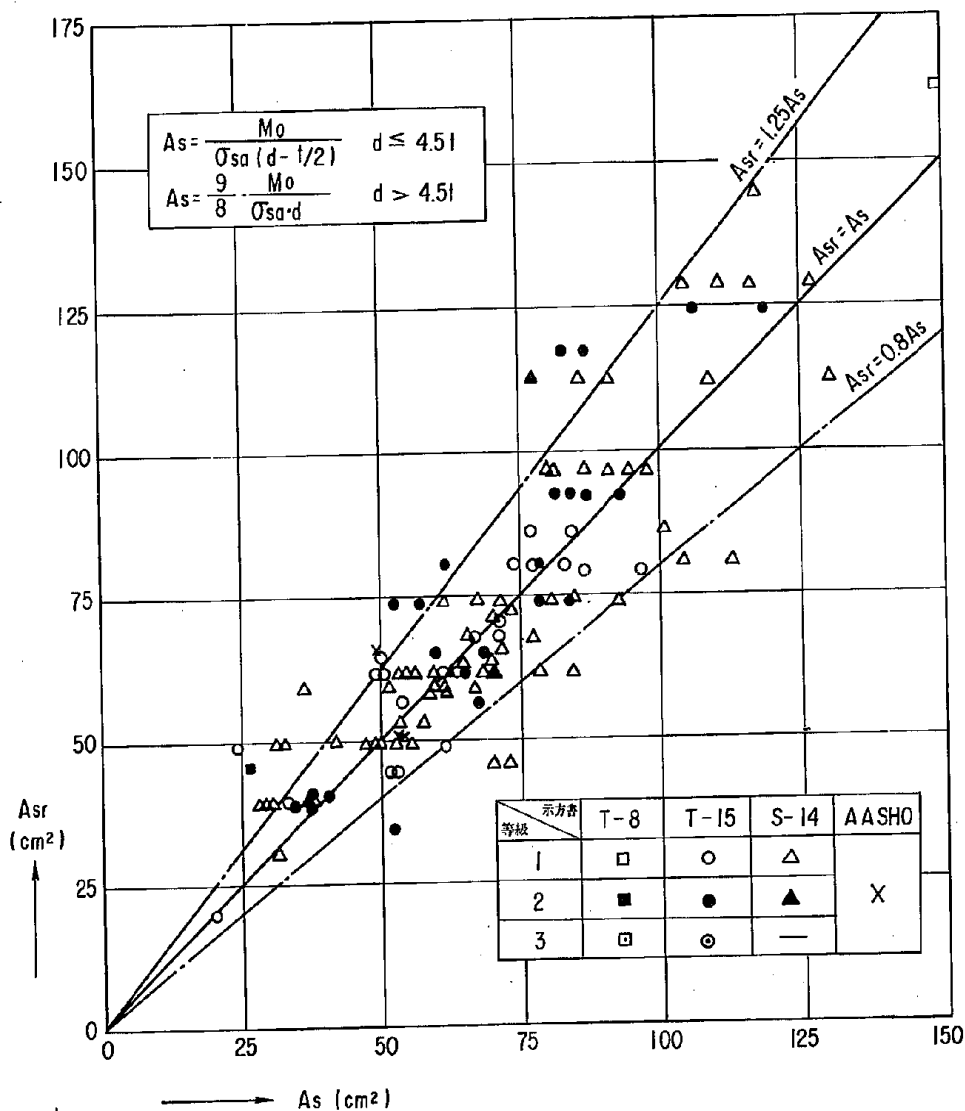


図-30 設計鉄筋量 (A_{sr}) ~ 推定鉄筋量 (A_s)

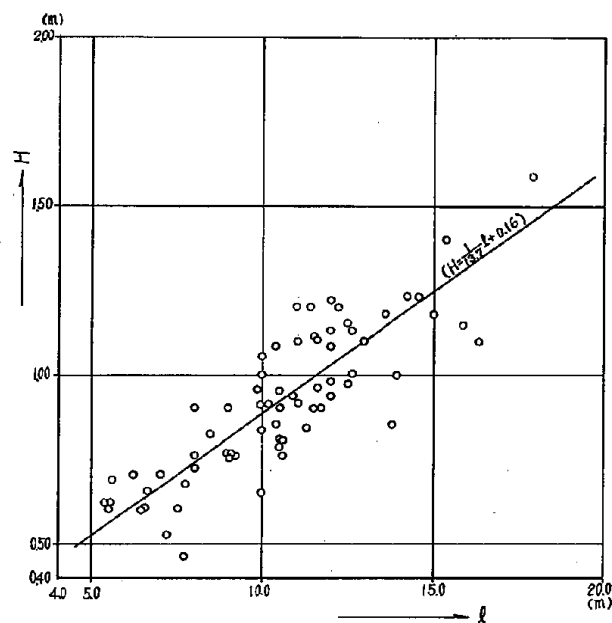


図-31 桁高 (H) ~ 径間長 (l)

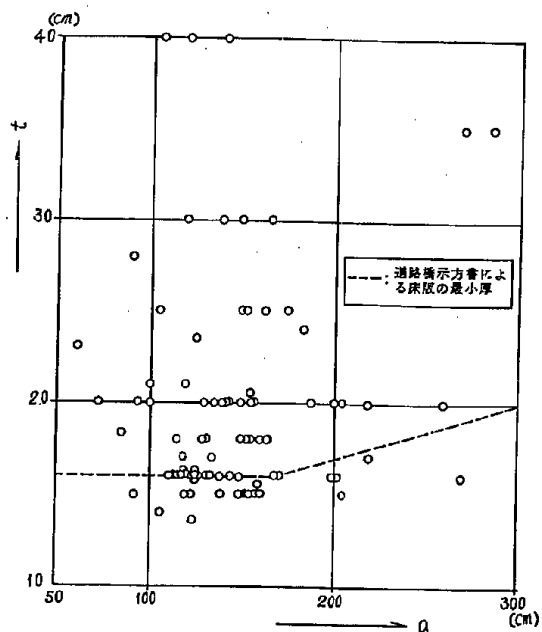


図-32 床版厚 (t) ~ 床版跨支間 (a)

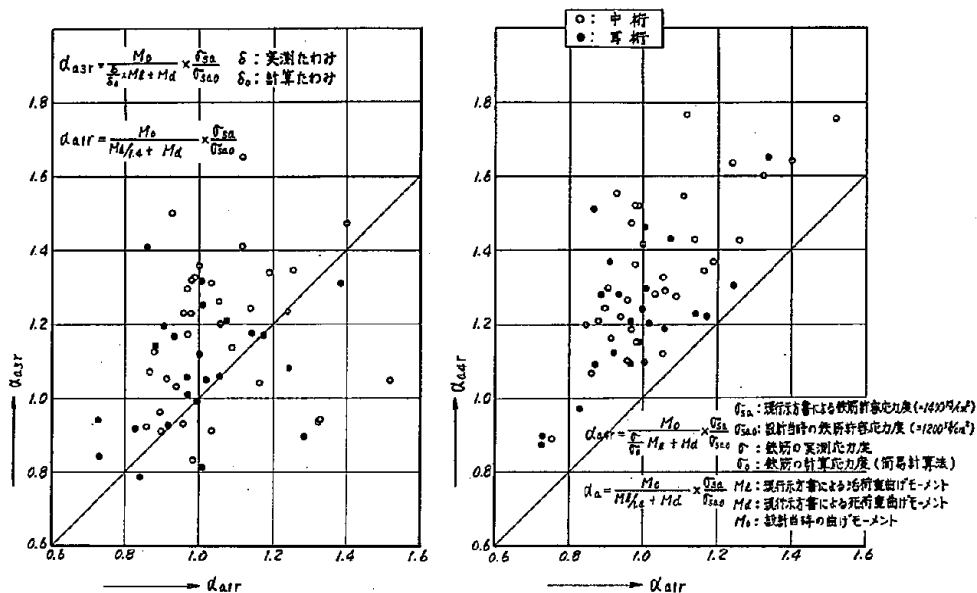


図-33 α_a による耐荷率 (実際の鉄筋量を用いた場合)

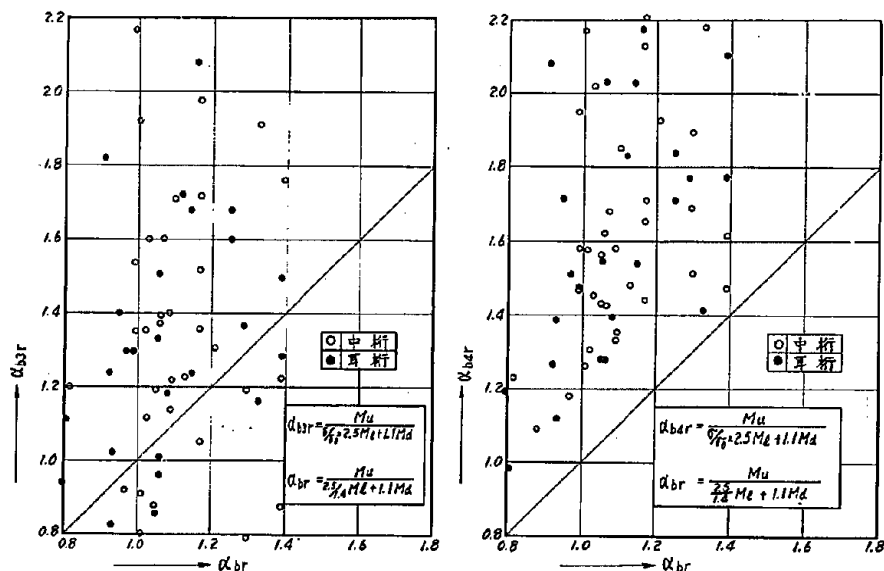


図-34 α_b による耐荷力判定 (実際の鉄筋量を用いた場合)

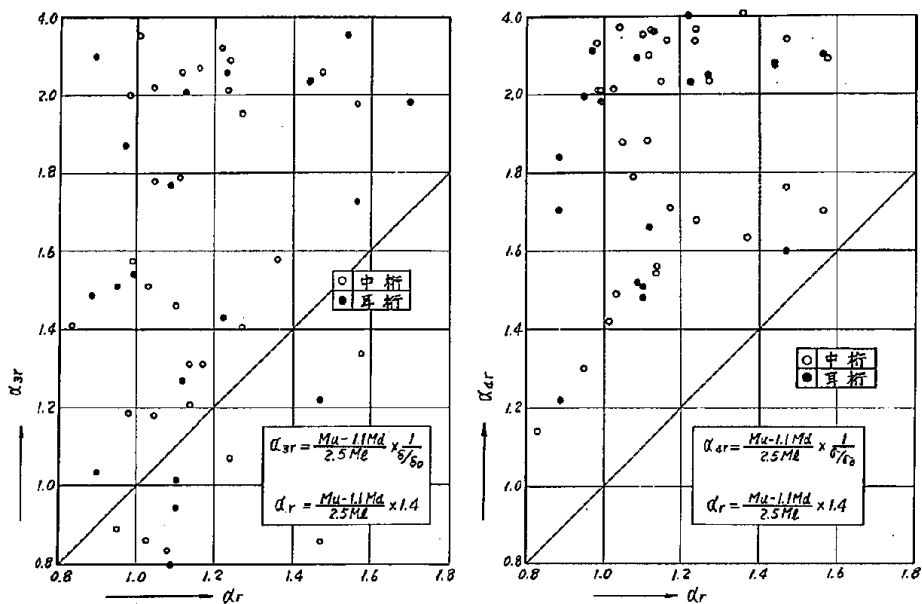


図-35 α による耐力判定 (実際の鉄筋量を用いた場合)

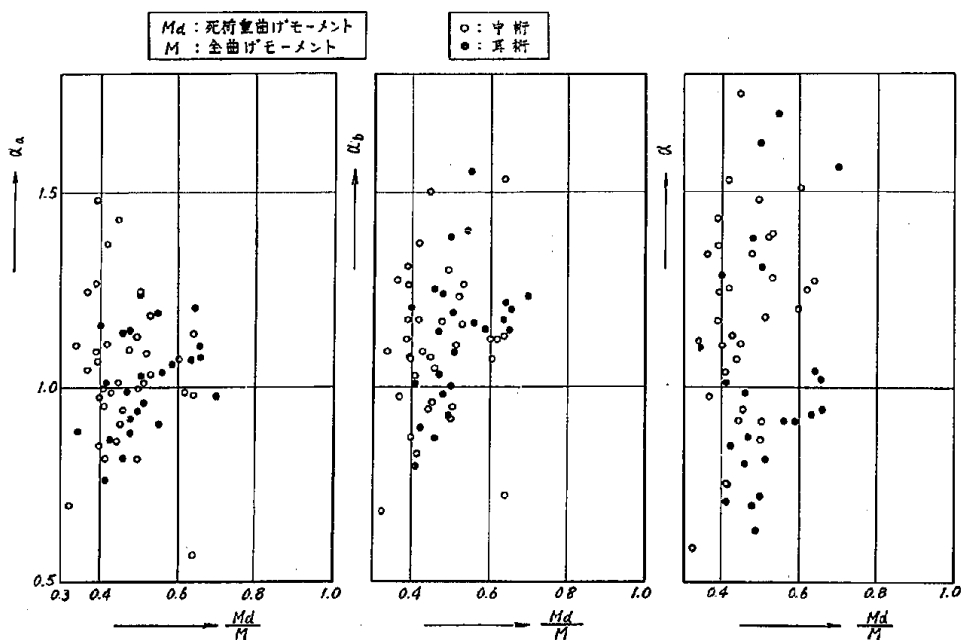


図-36 耐力率 (α) ~ 曲げモーメント比 (Md/M)

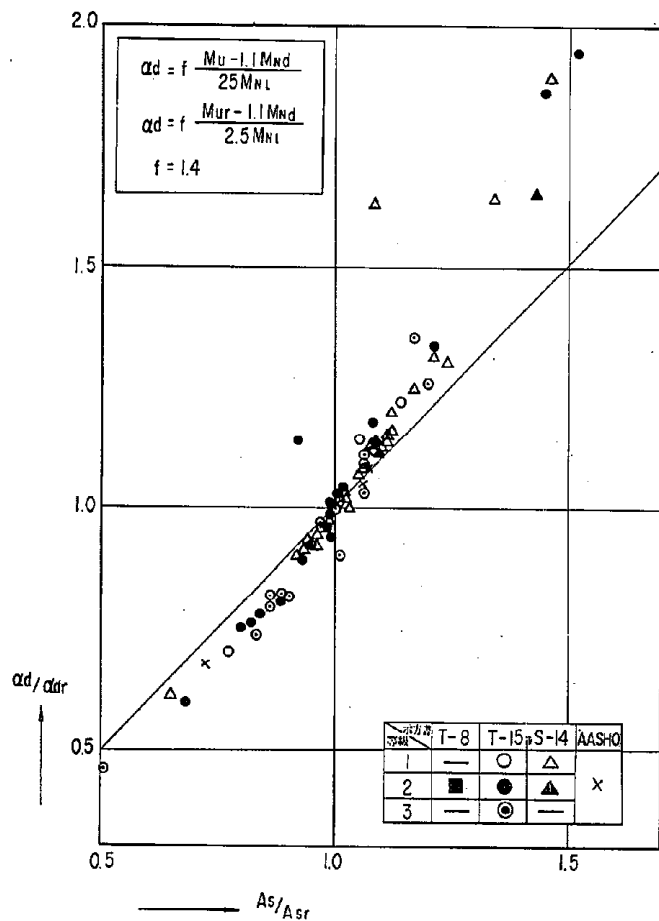


図-37 耐力率比 (α_d/α_{dr}) ~ 推定・設計鉄筋量比 (A_s/A_{sr}) 調査 C1

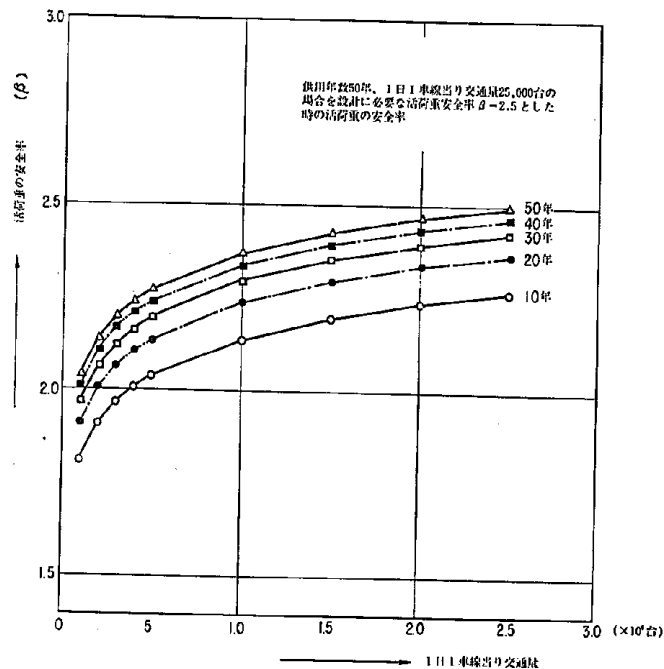


図-38 活荷重安全率と交通量、今後の供用年数との関係

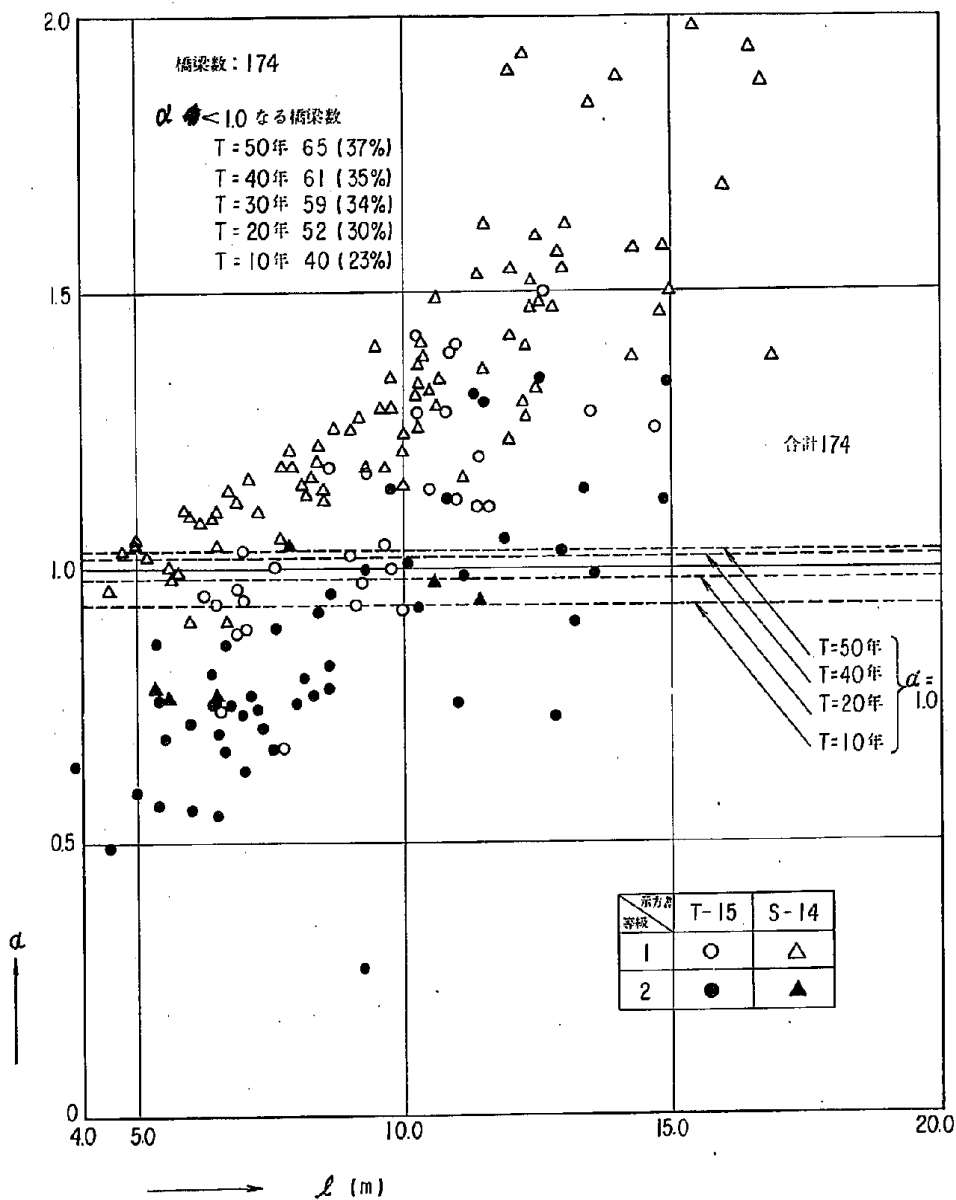


図-39 交通量と今後の供用年数を考慮した耐荷率（これからの耐用年数30年，交通量は現在の交通量が継続すると仮定して β を図-38より求めた。）

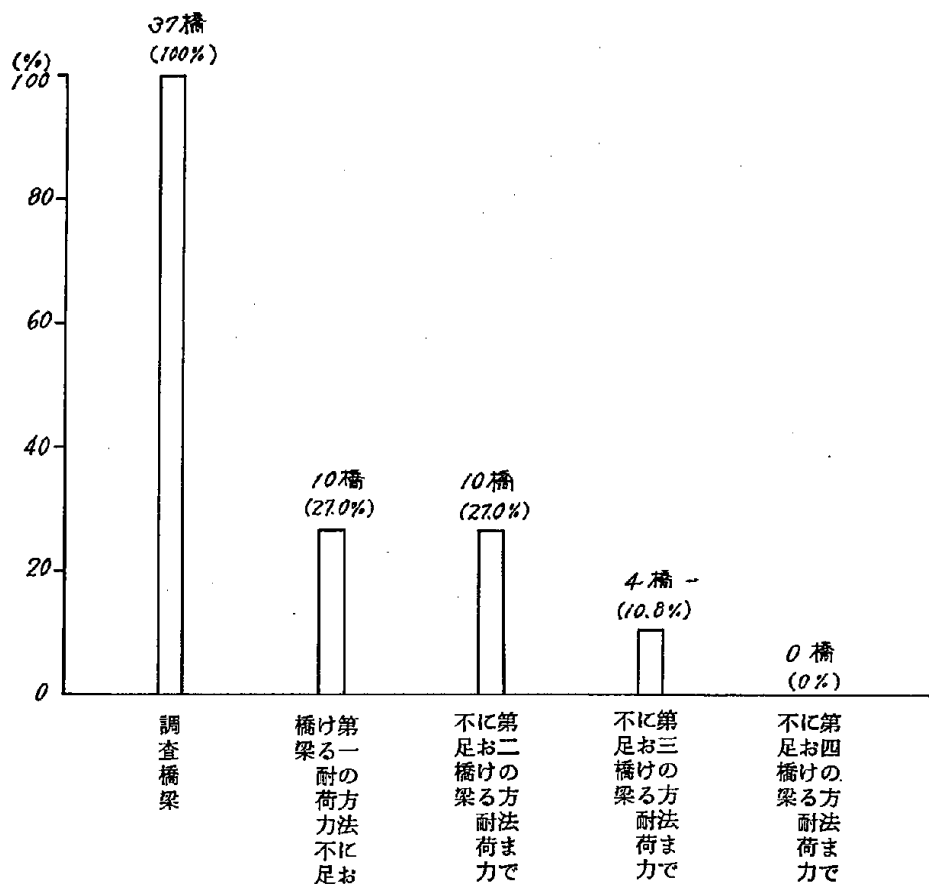


図-40 耐荷力の判定結果 ($\beta = 2.5$ として $\alpha = 1.0$ を下まわる橋梁数)

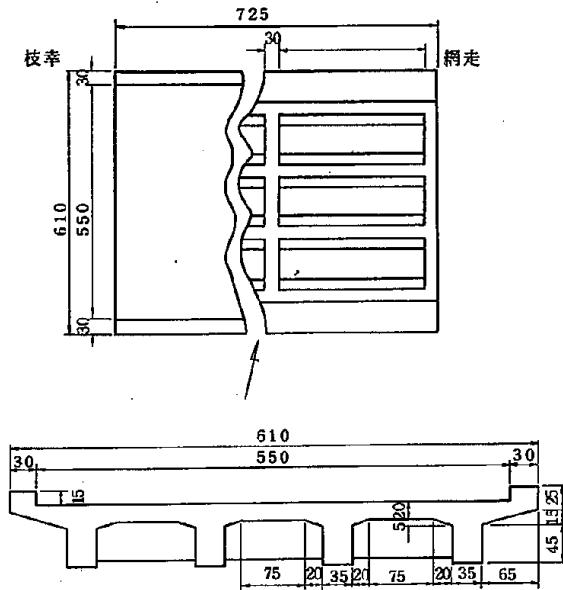


図-41-(1) 間内橋一般図

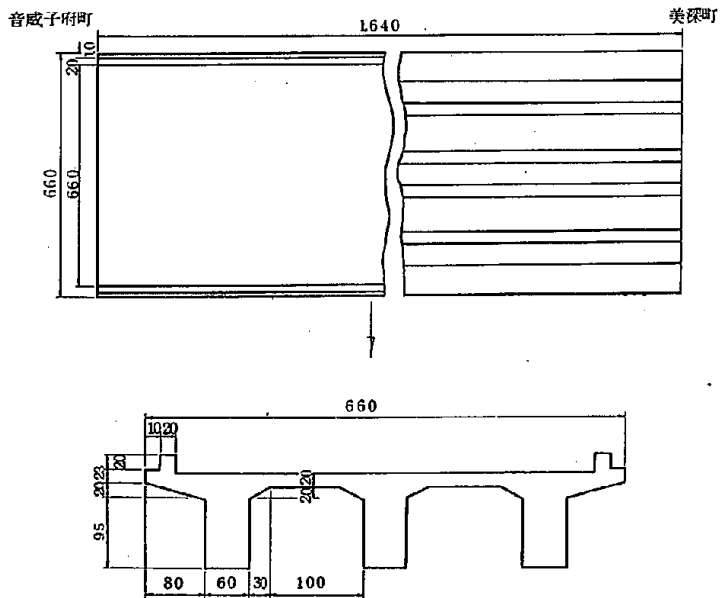
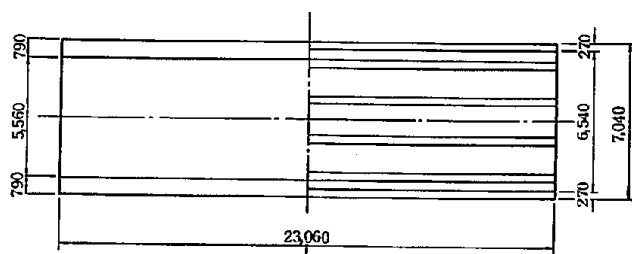


図-41-(2) 恩根内橋一般図



断面図

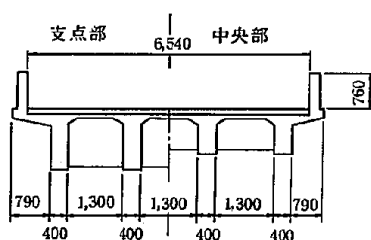


図-41-(3) 古川橋一般図

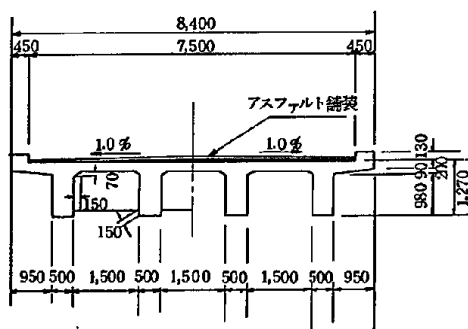
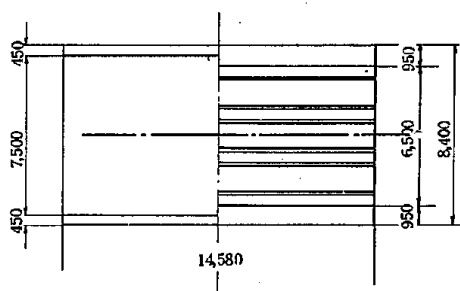
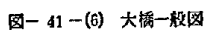
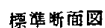
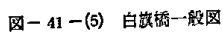
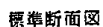


図-41-(4) 湯尻橋一般図



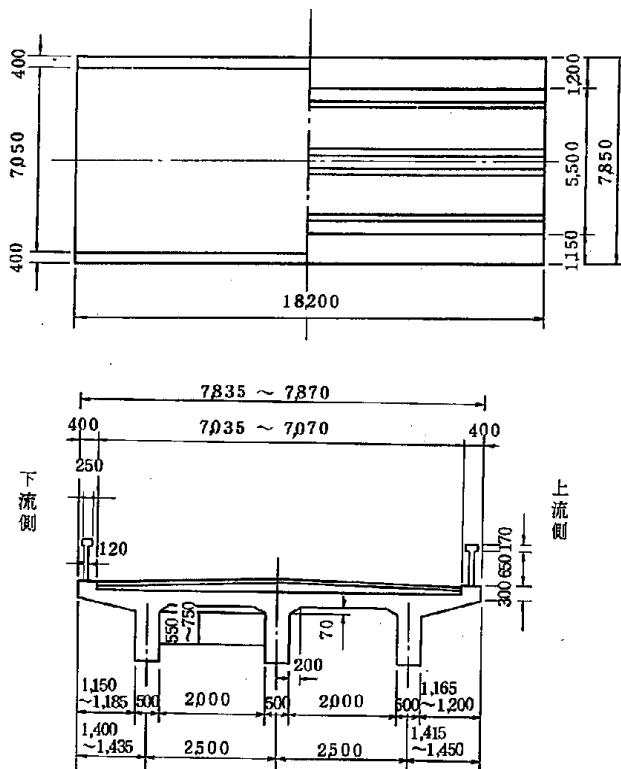


図-41-(7) 小山橋一般図

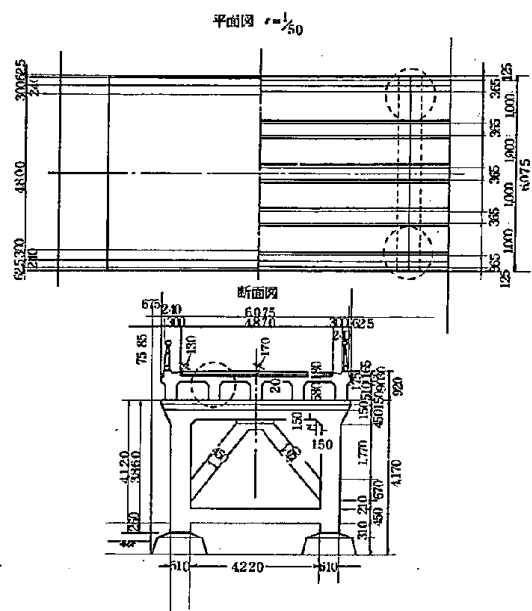


図-41-(8) 荒川橋一般図

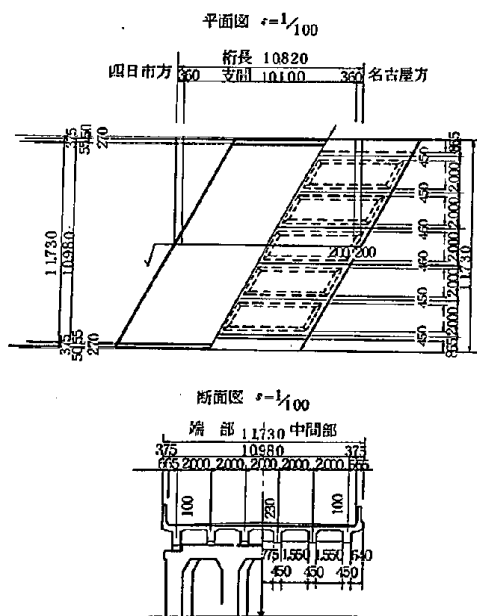


图-41-(9) 佐屋大橋一般図

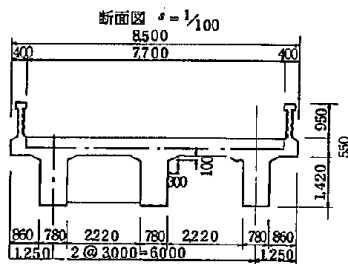
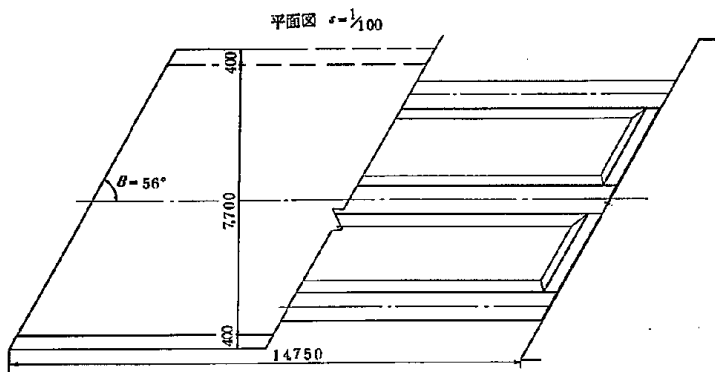


図-41-60 不動川一般図

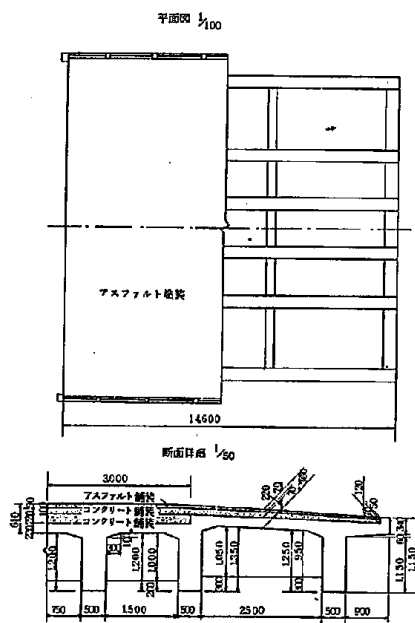


図-41-(1) 中津川一般図

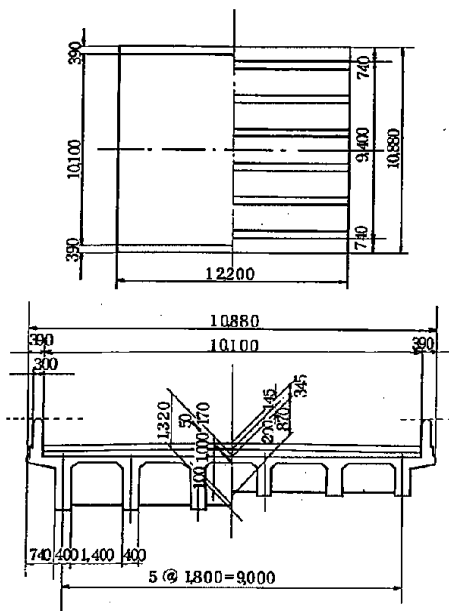


图-41-03 八幡川橋一般図

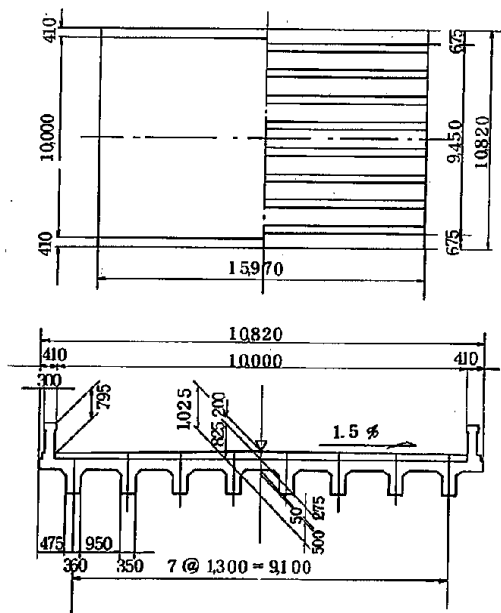


图-41-04 榎浦橋一般図

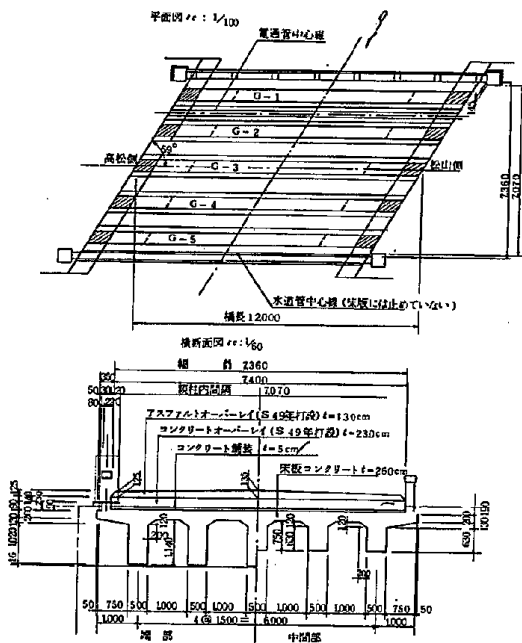


図-41-04 明安橋一般図

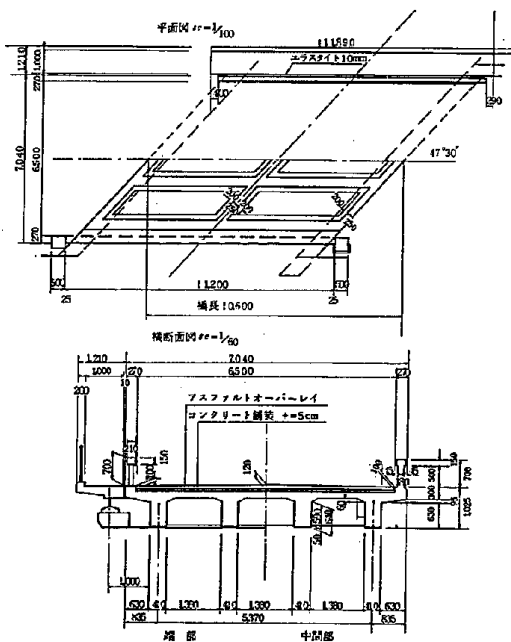


図-41-05 山崎橋一般図

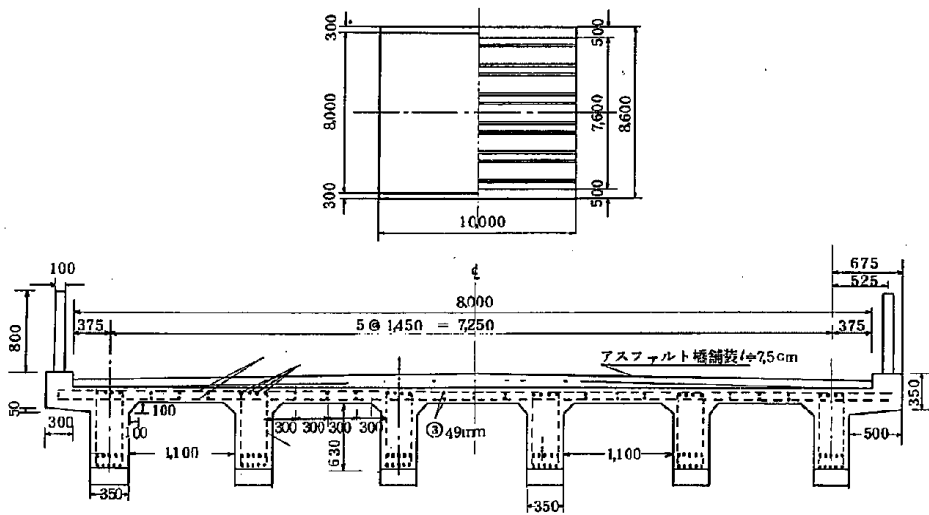


図-41-00 紅葉橋一般図

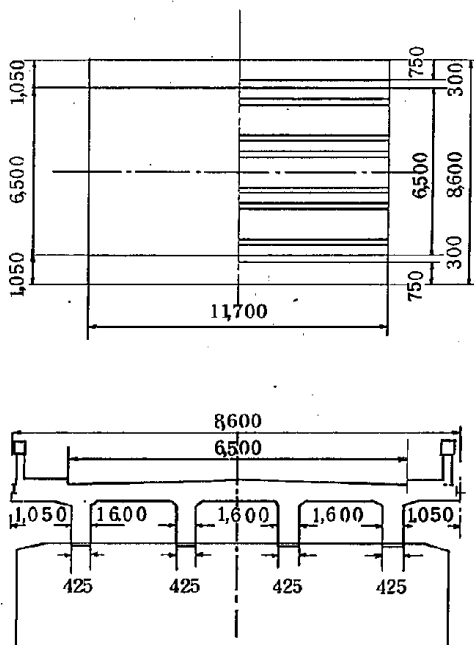


図-41-01 額社橋一般図

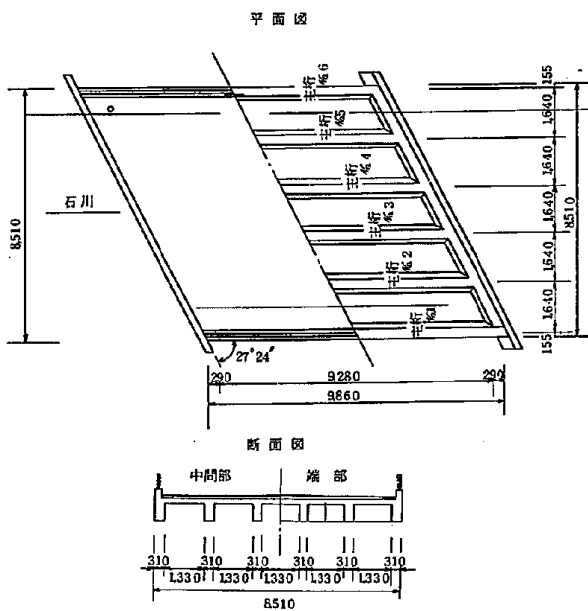


図-41-08 伊芸橋一般図

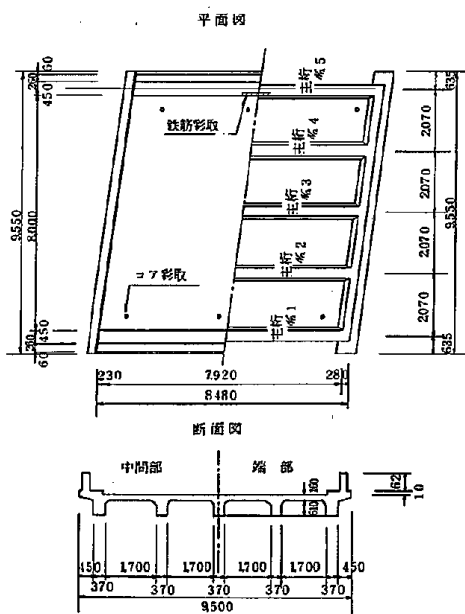


図-41-09 屋嘉橋一般図

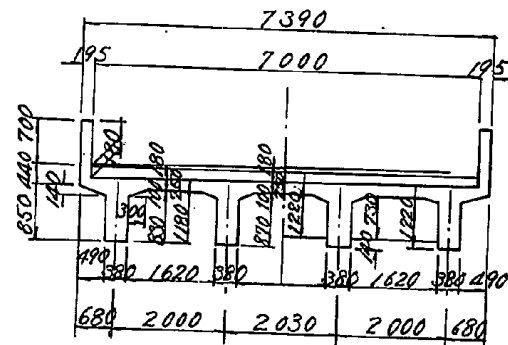
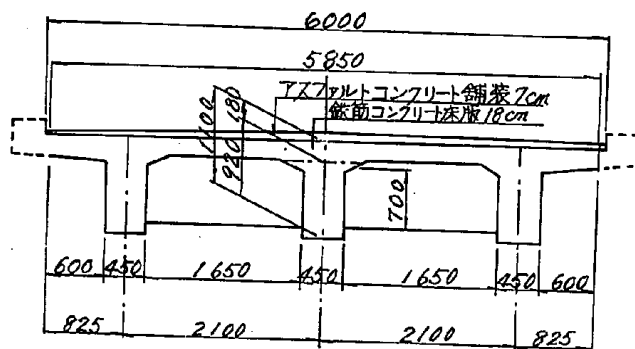
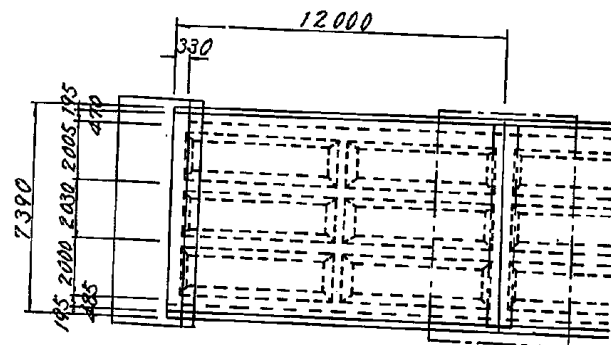
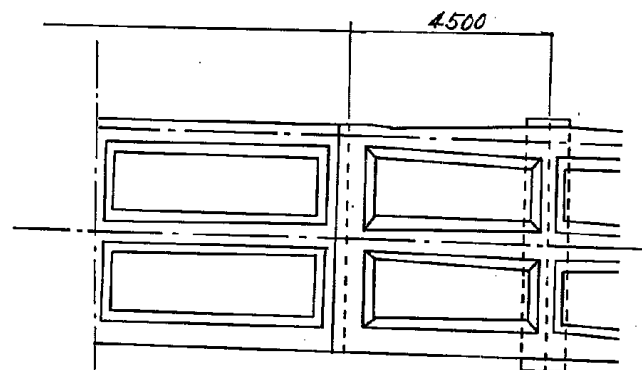


図 42 - (1) 相沼内橋一般図

図 42 - (2) 松島橋一般図

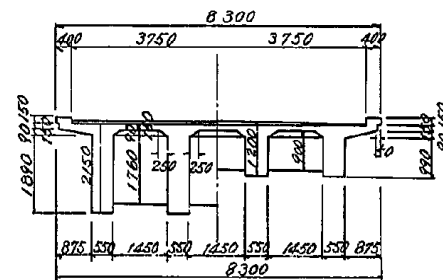
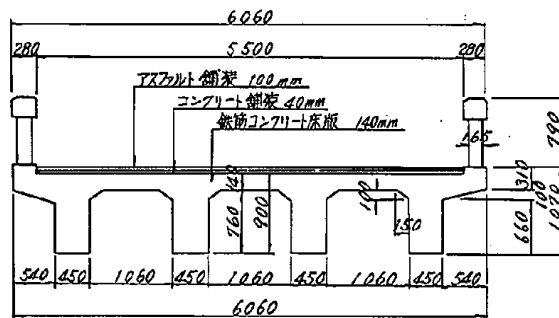
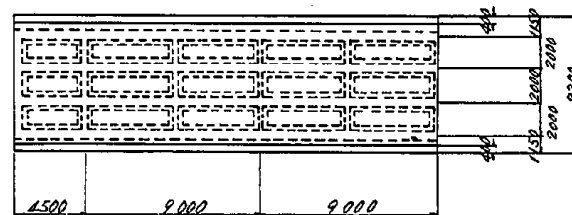
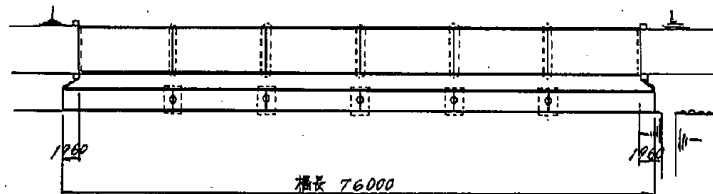


図 42-(3) 本郷橋一般図

図 42-(4) 野崎橋一般図

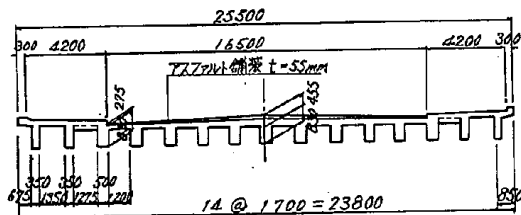
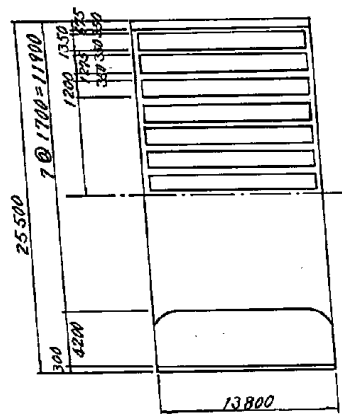


图 42-(5) 上板桥一般图

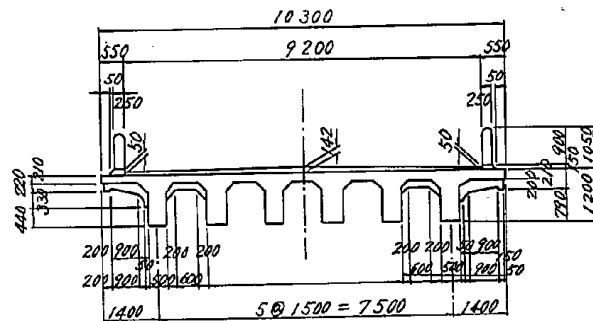
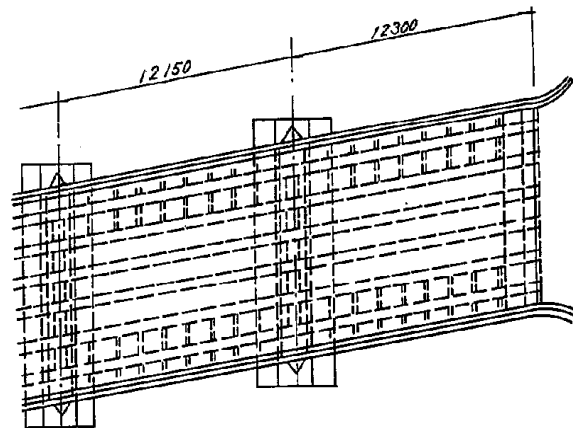


图 42-(6) 花木桥一般图

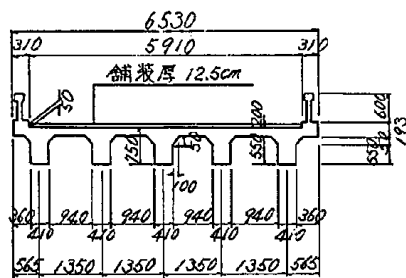
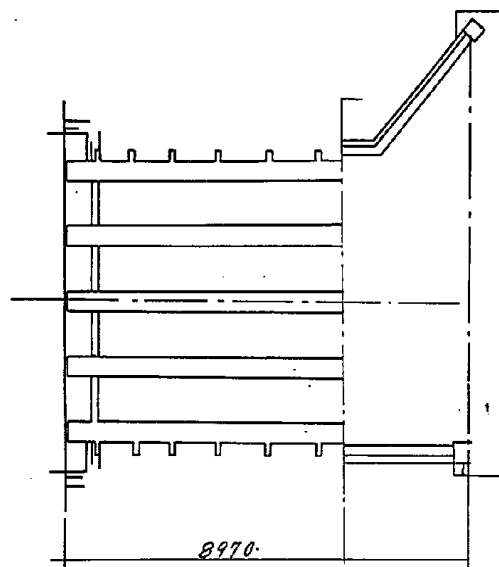


图 42 —(7) 久江橋一般図

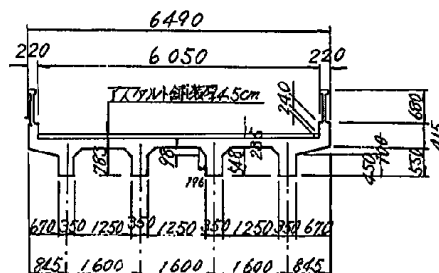
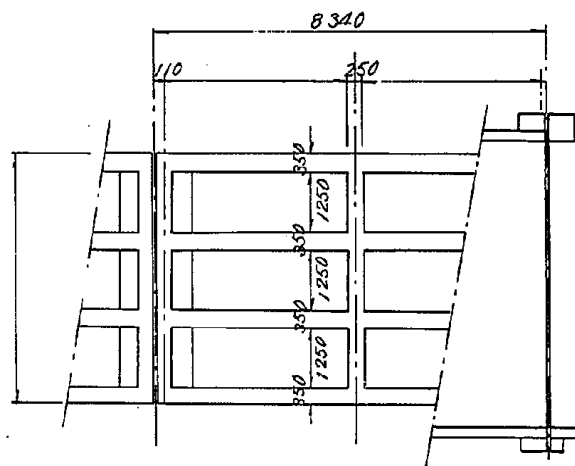


图 42 —(8) 予浦新橋一般図

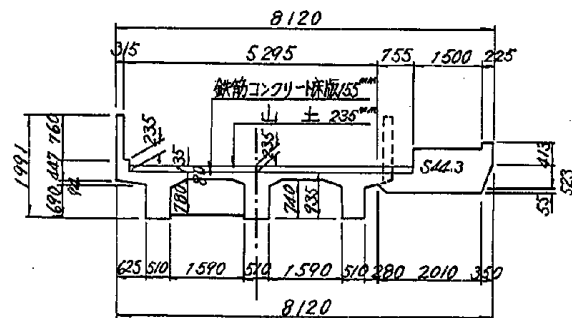
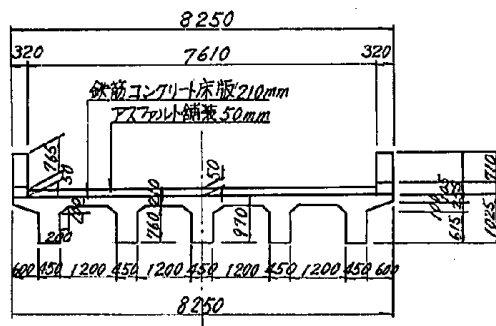
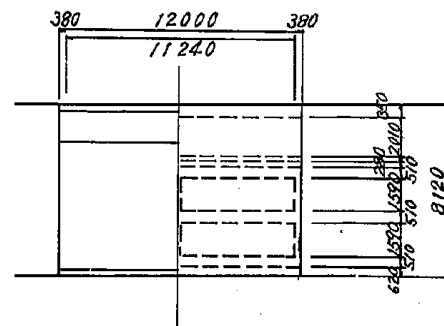
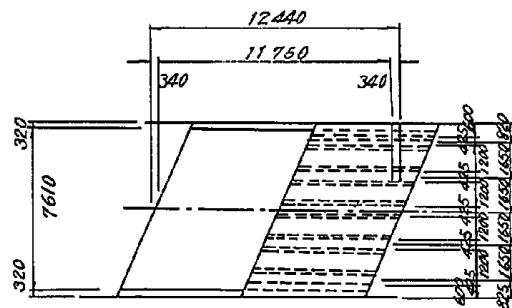


図 42—(9) 同心橋一般図

図 42—(10) 徳永橋一般図

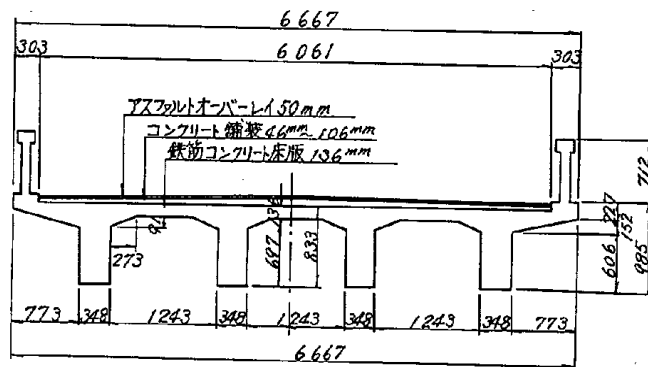
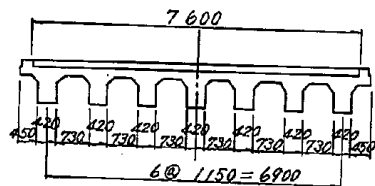
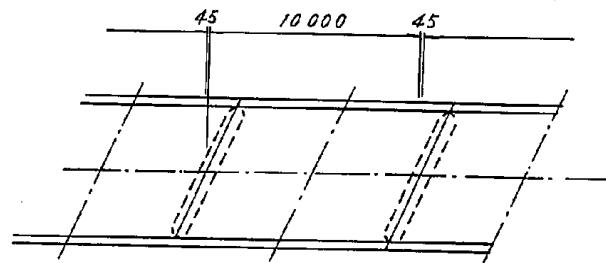
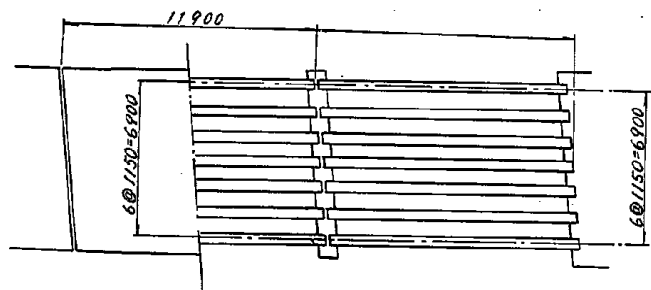


図 42-01 木ノ芝橋一般図

図 42-02 玉津大橋一般図

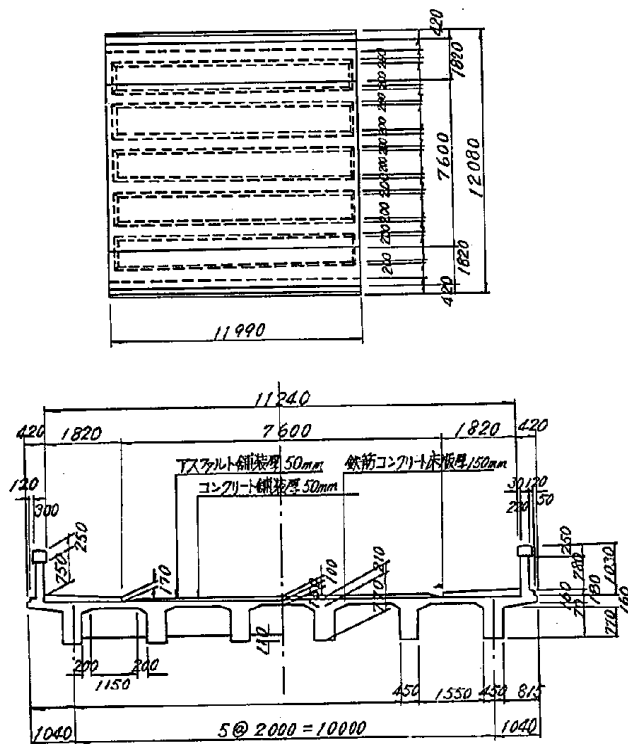


図 42 - (1) 荒神橋一般図

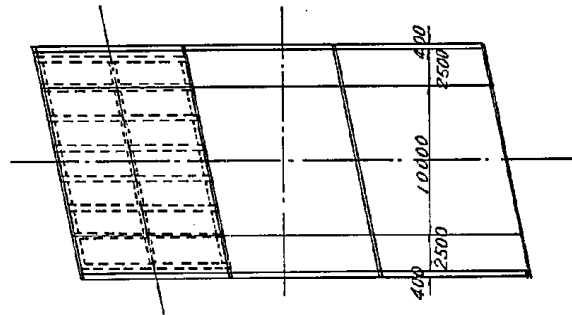


図 42 - (2) 切戸橋一般図

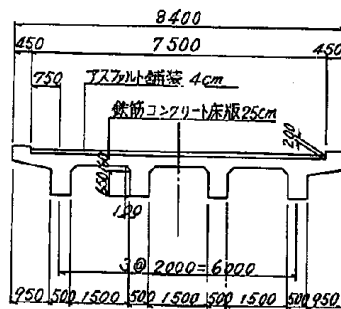
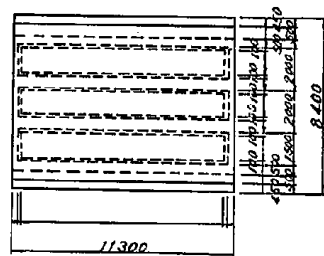


图 42-16 新津橋一般図

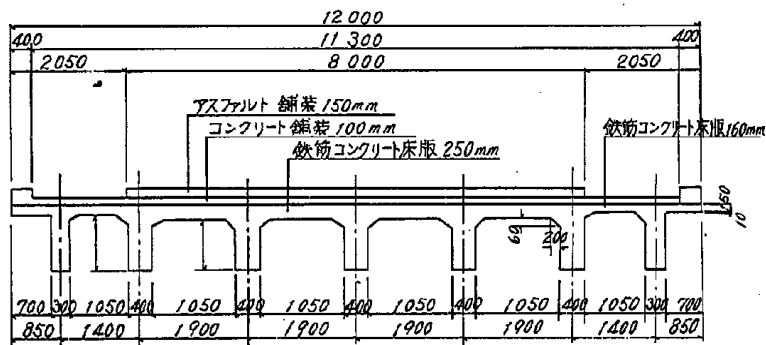
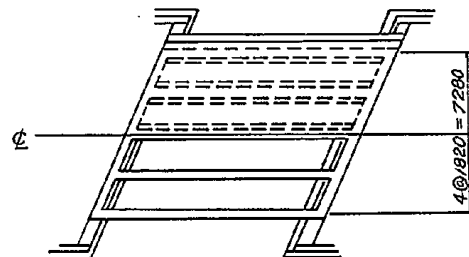
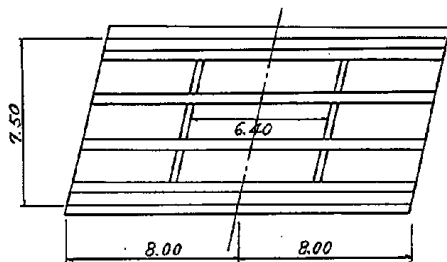


图 42-107 新町橋一般図

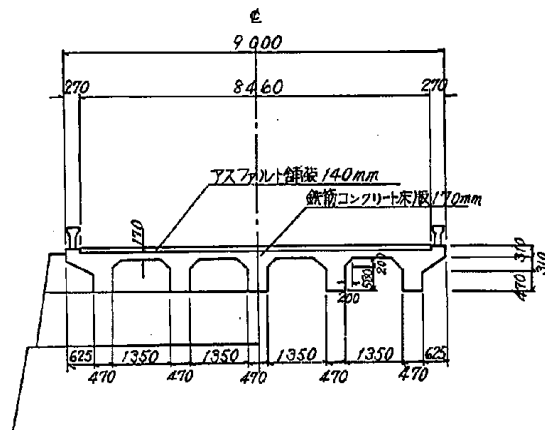
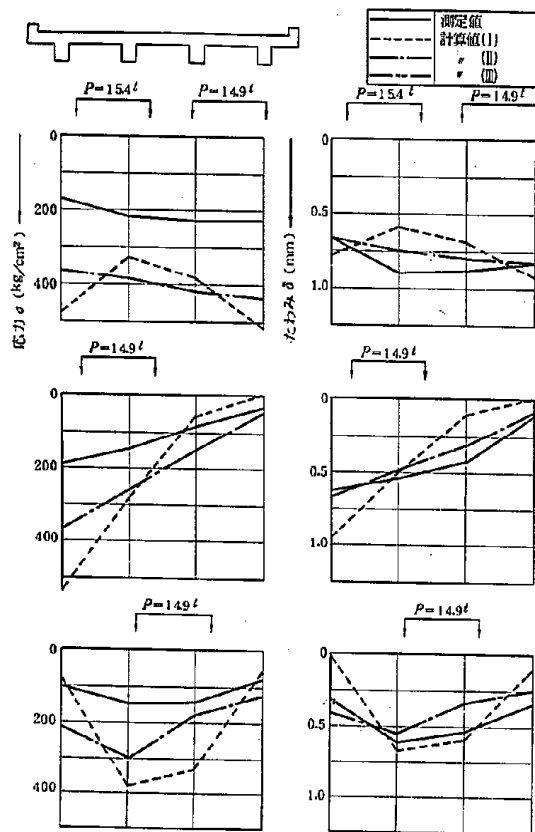
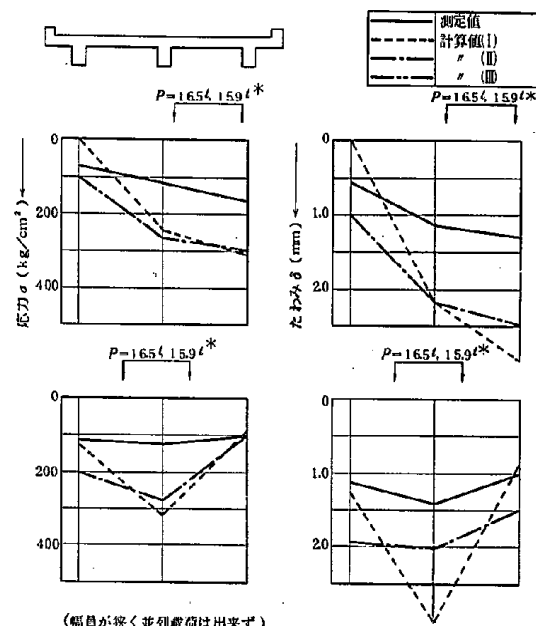


图 42-108 比嘉橋一般図

1. 間内橋



2. 恩根内橋

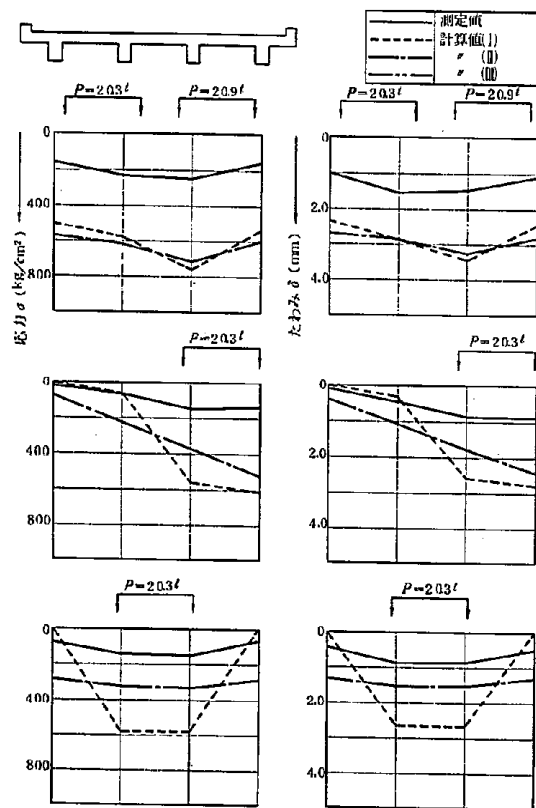


(幅員が狭く並列載荷は出来ず)

*) 橋軸方向に総重量16.5tと15.9tの車両を載荷

図-43-(1) 実橋載荷試験結果

3. 古川橋



4. 湯尻橋

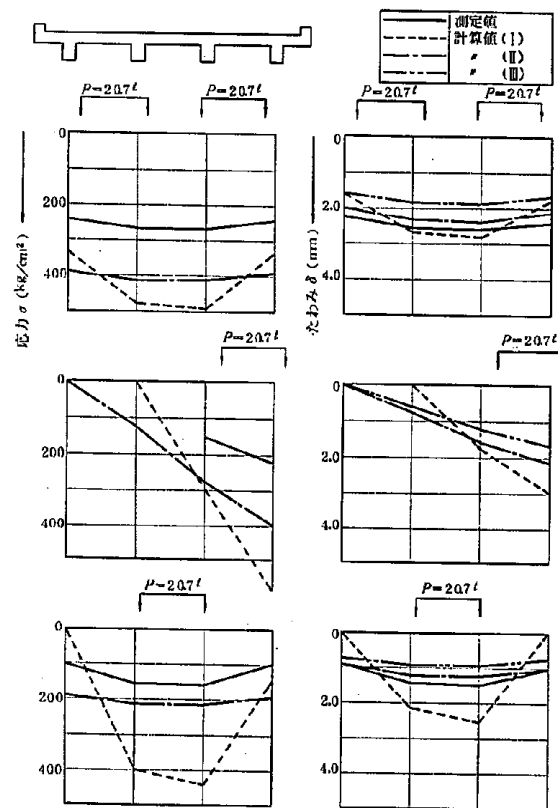
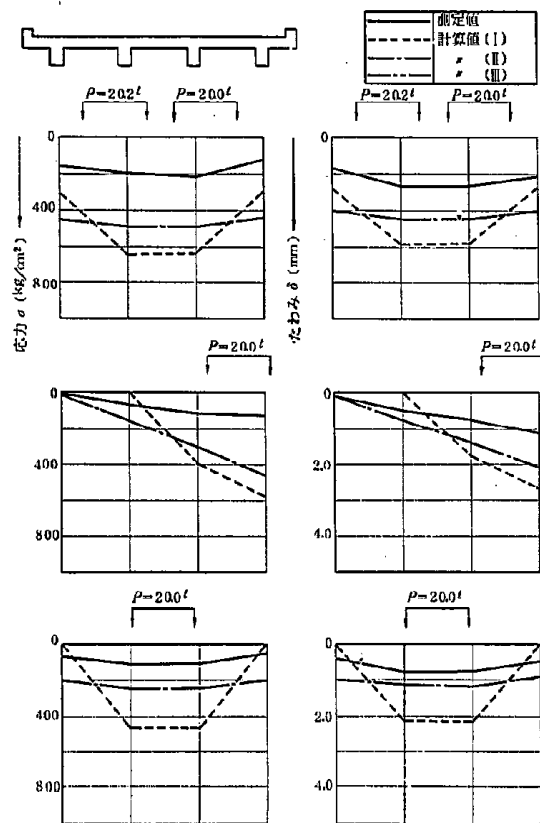


図-43-(2) 実橋載荷試験結果

5. 白旗橋



6. 大橋橋

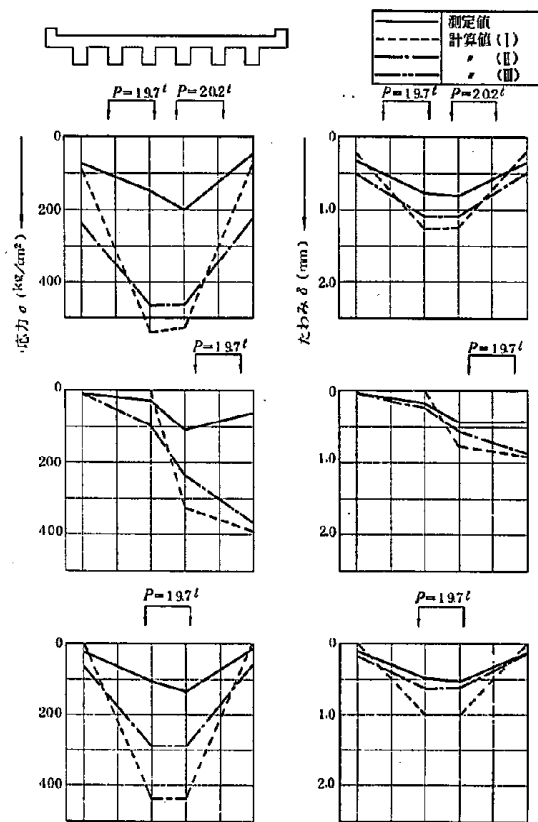
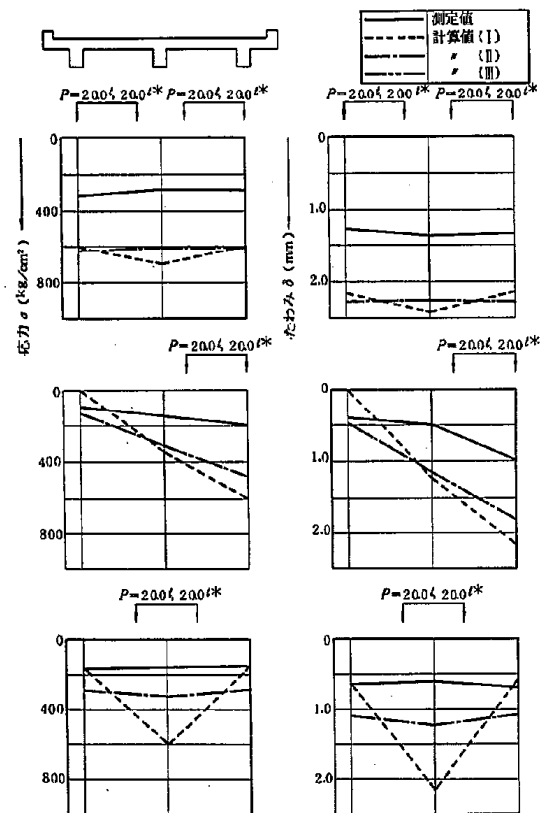


図-43-(3) 実橋載荷試験結果

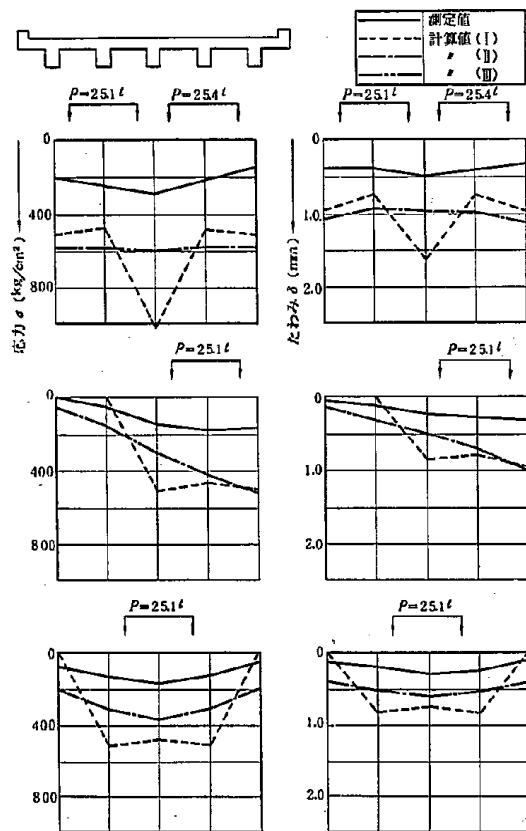
7. 小山橋



*) 橋軸方向に総重量20.0tの車両を2台載荷

図-43-(4) 実橋載荷試験結果

8. 荒井橋



9. 佐屋大橋

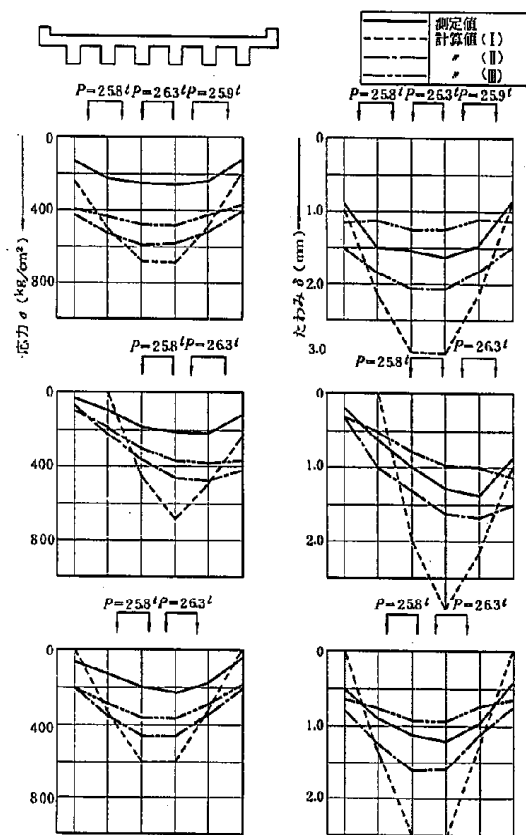
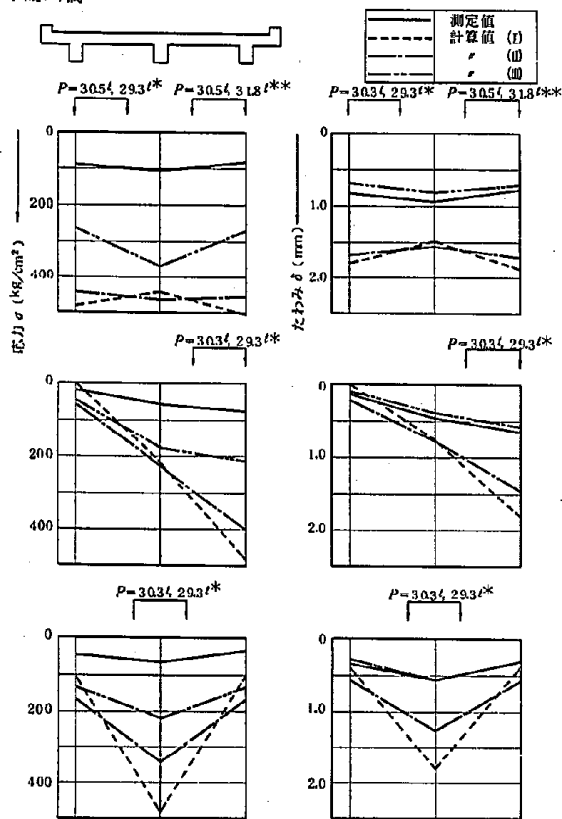


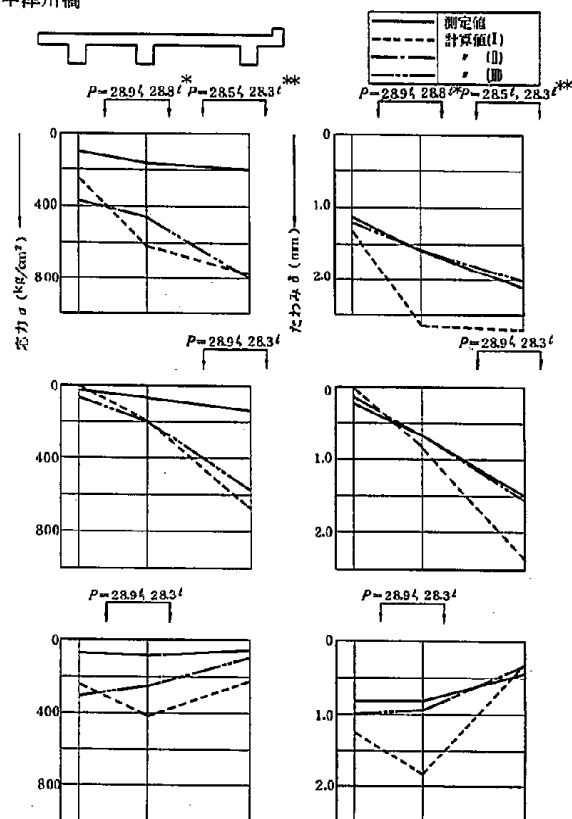
図-43-(5) 実橋載荷試験結果

10. 不動川橋



*) 橋軸方向に 30.3t と 29.3t の車両を載荷
**) 橋軸方向に 30.5t と 31.8t の車両を載荷

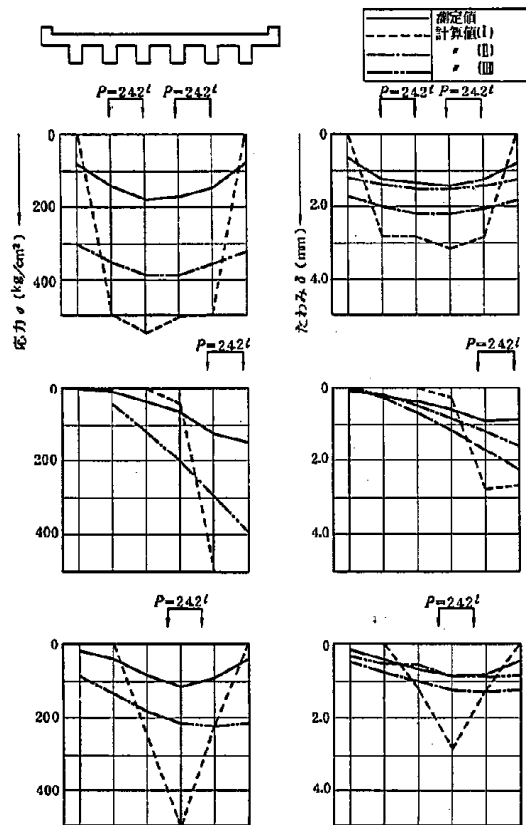
11. 中津川橋



*) 橋軸方向に総重量 28.9t と 28.8t の車両を載荷
**) 橋軸方向に総重量 28.5t と 28.3t の車両を載荷

図-43-(6) 実橋載荷試験結果

12. 八幡川橋



13. 榎浦橋

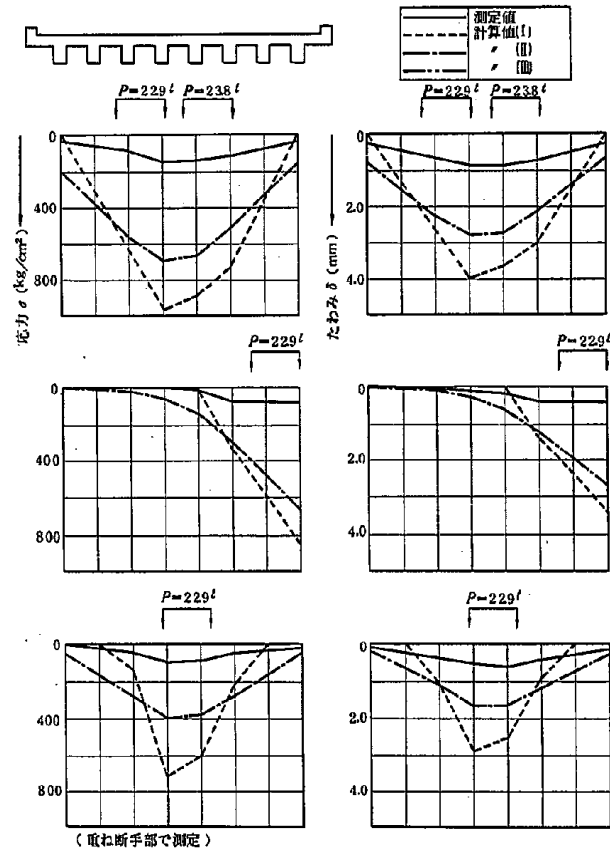
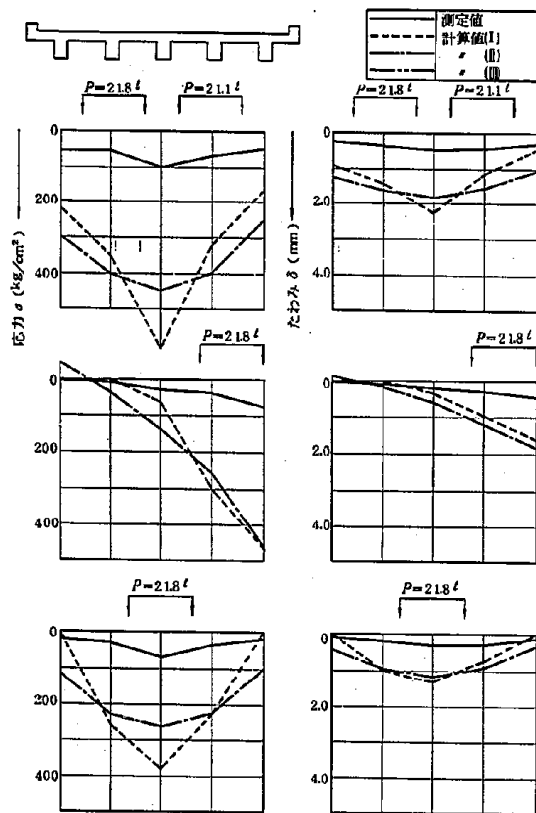


図-43-(7) 実橋載荷試験結果

14. 明安橋



15. 山崎橋

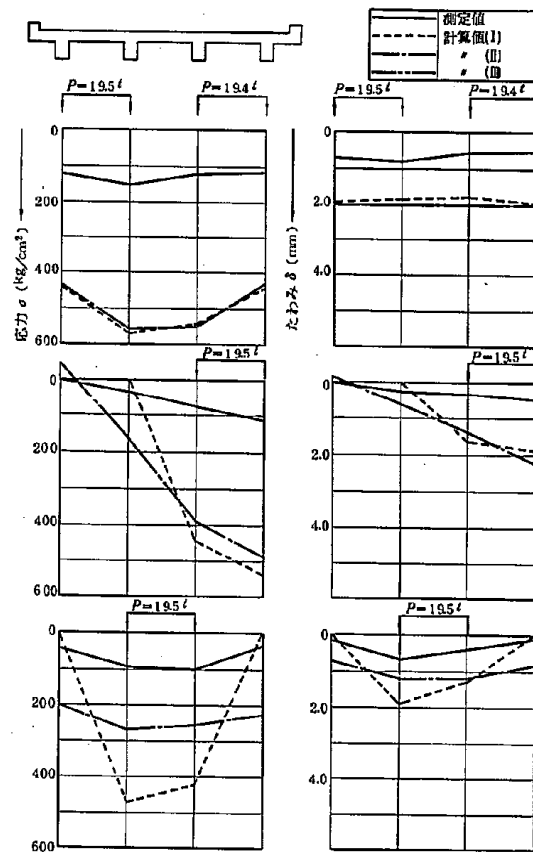
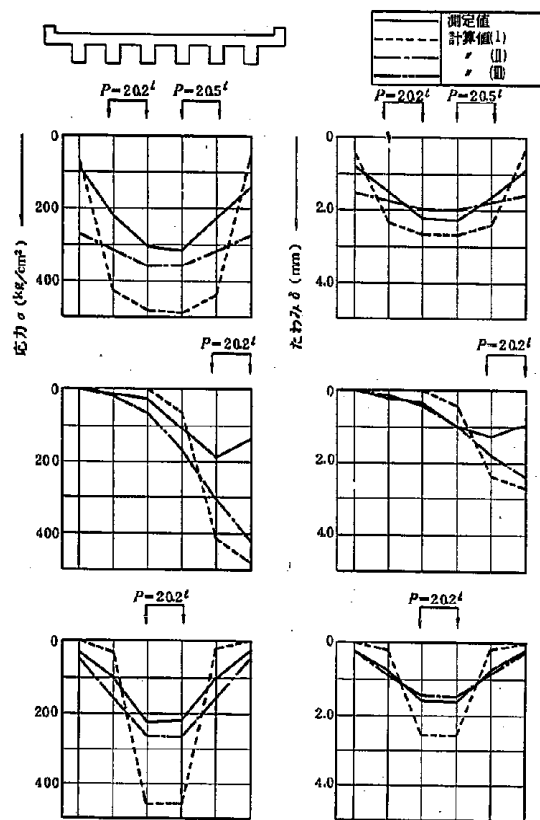


図-43-(8) 実橋 載荷試験結果

16. 紅葉橋



17. 願社橋

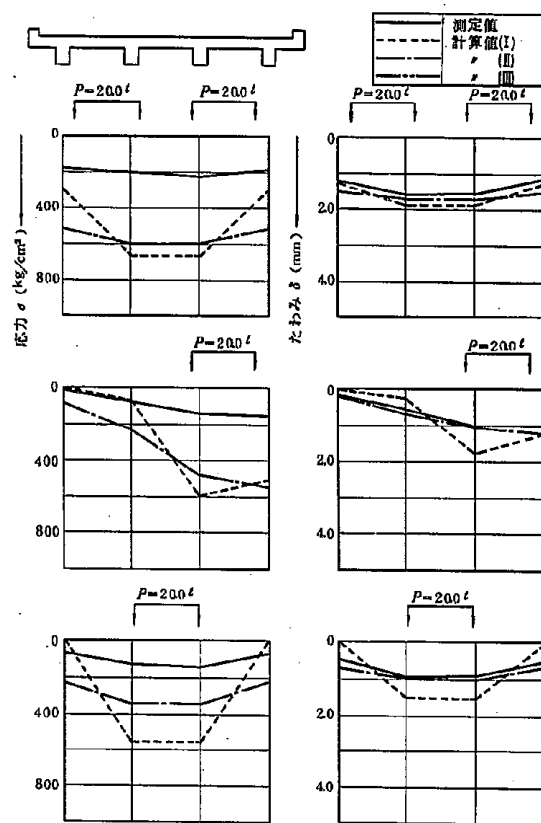
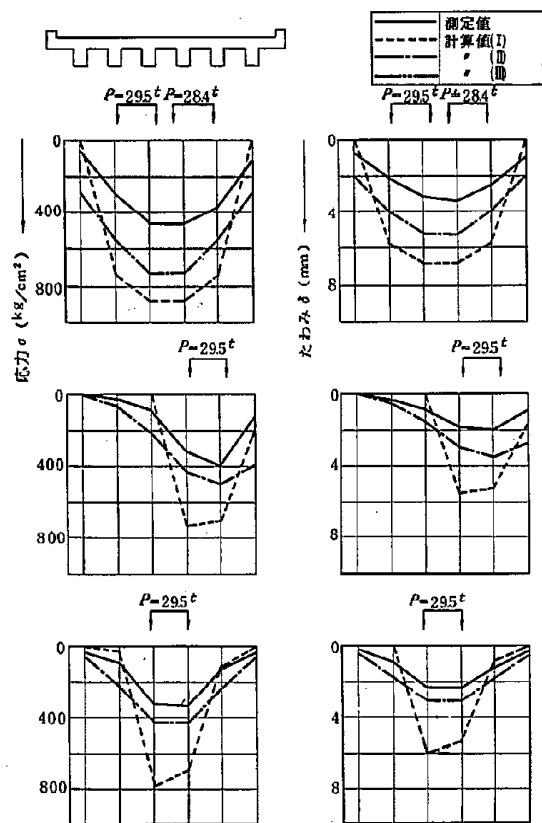


図-43-(9) 実橋載荷試験結果

18. 伊芸橋



19. 屋嘉橋

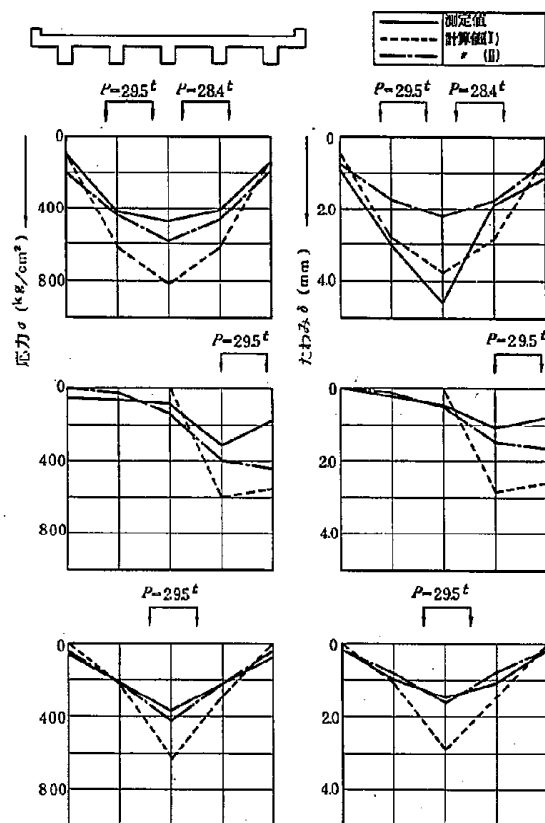
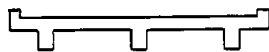
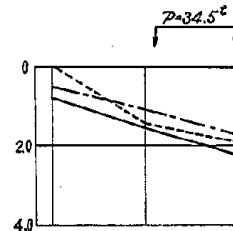
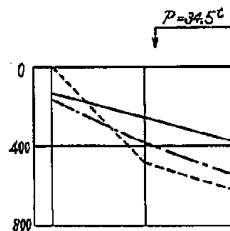
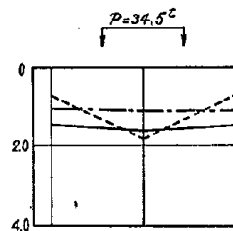
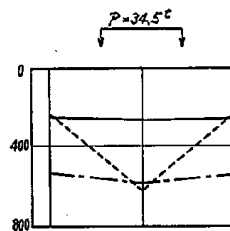
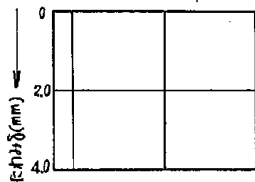
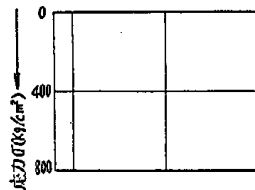


图-43-10 実橋載荷試験結果

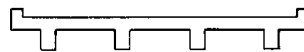
① 相沼内橋



	実測値
-----	橋形計算図による計算値
-----	荷重分配を考慮した計算値



② 松島橋



	実測値
-----	橋形計算図による計算値
-----	荷重分配を考慮した計算値

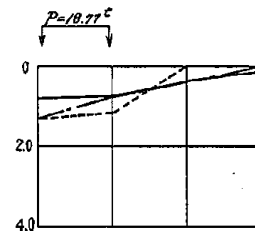
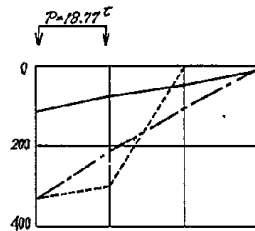
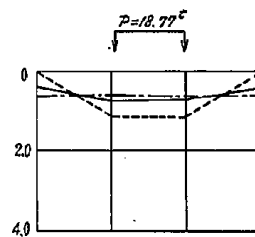
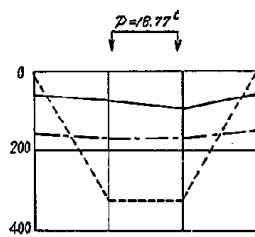
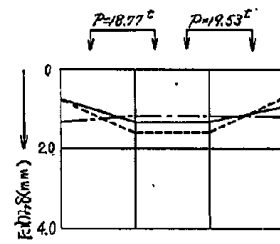
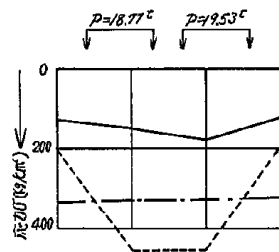
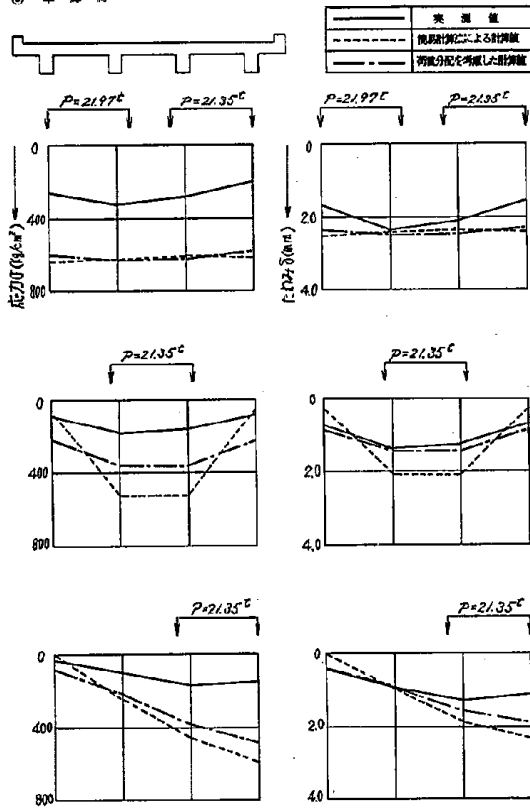
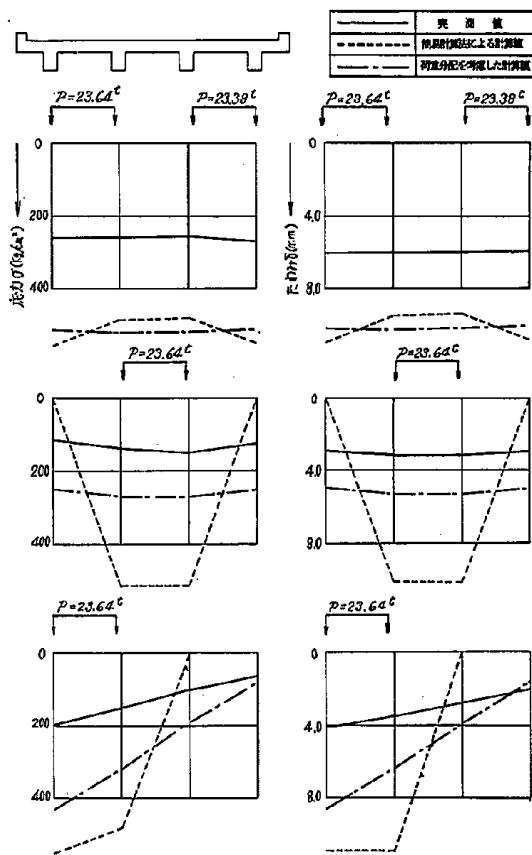


図 44-(1) 実橋載荷試験結果

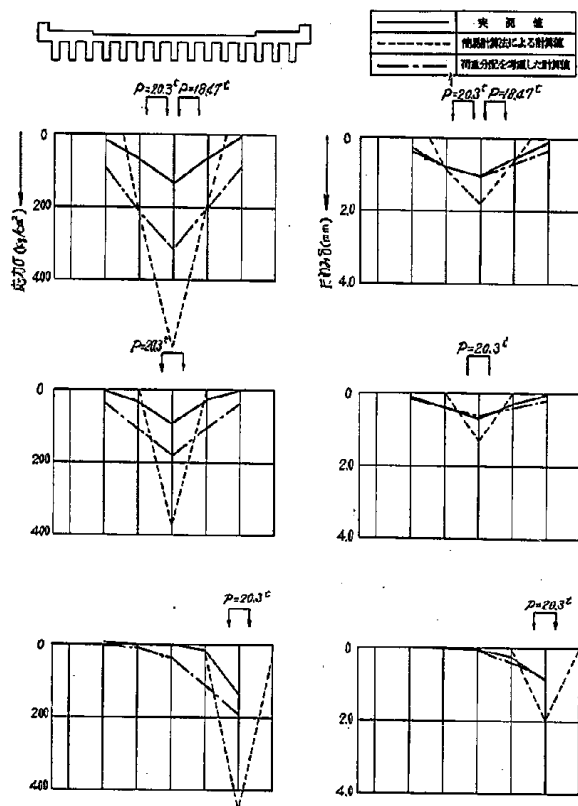
③ 本 部 橋



④ 野 崎 橋



⑤ 上坂橋



⑥ 花水橋

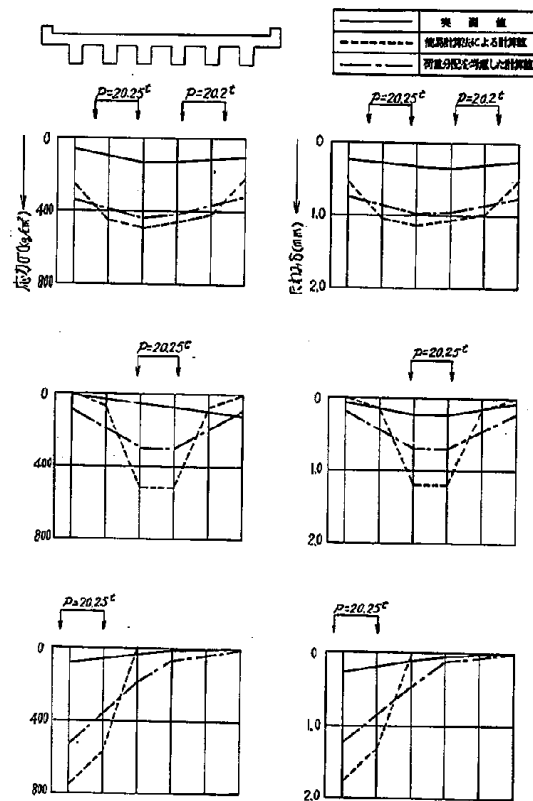
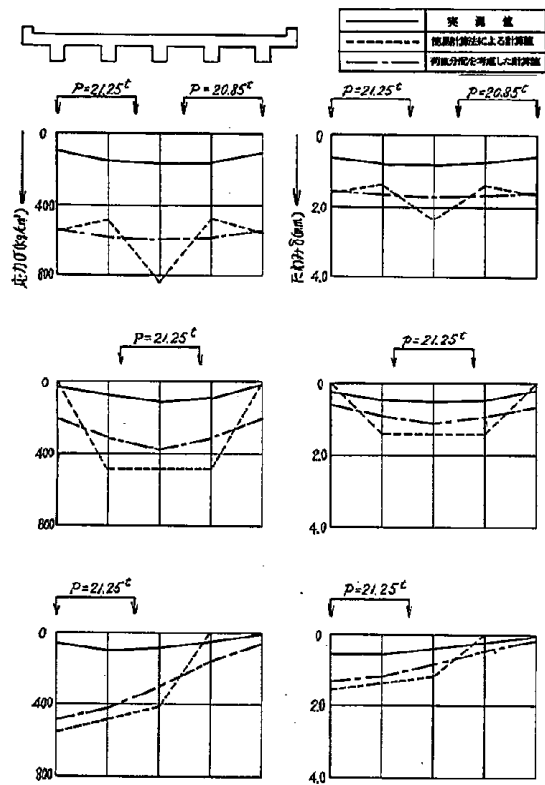


図44-(3) 実橋載荷試験結果

① 久江橋



② 子清新橋

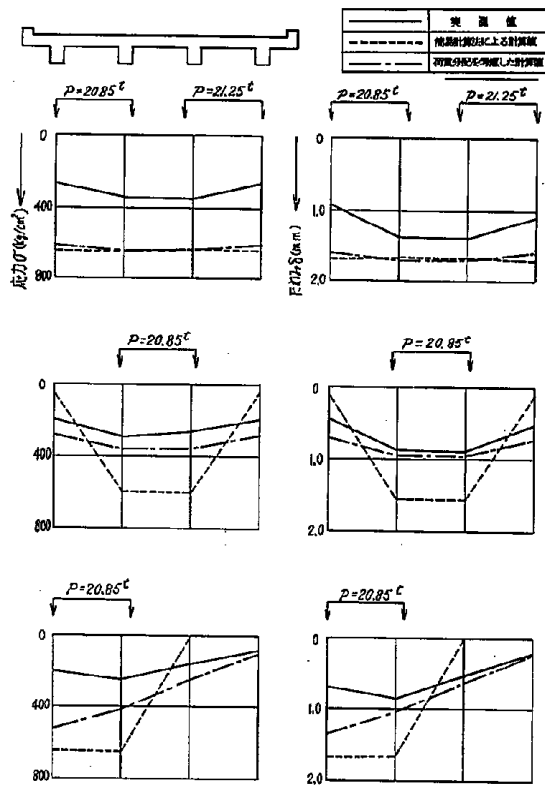
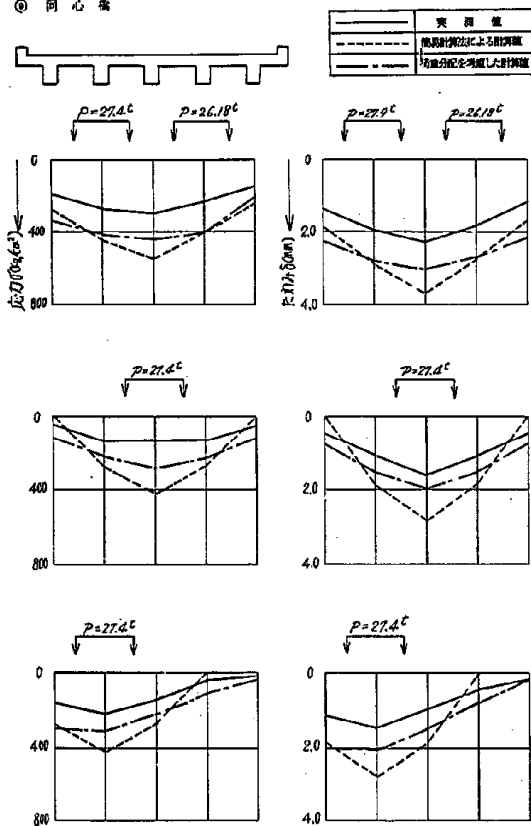


図 44-(4) 実橋 載荷試験結果

⑧ 同心橋



⑨ 偏水橋

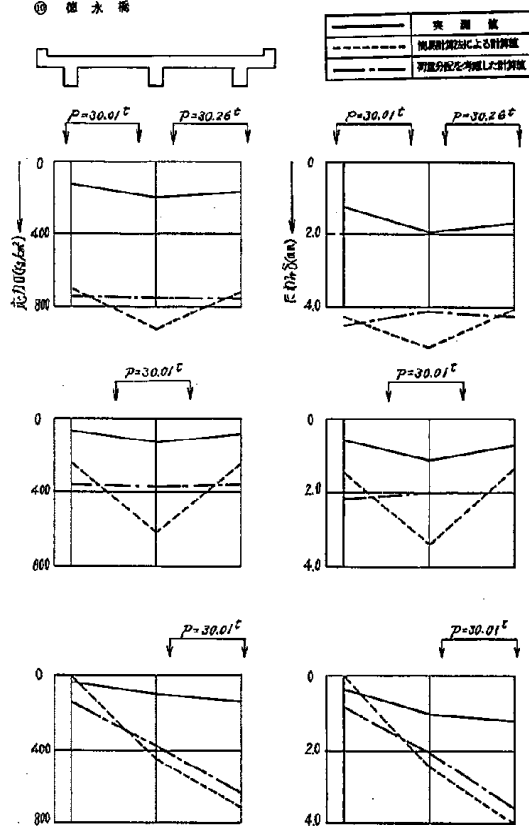
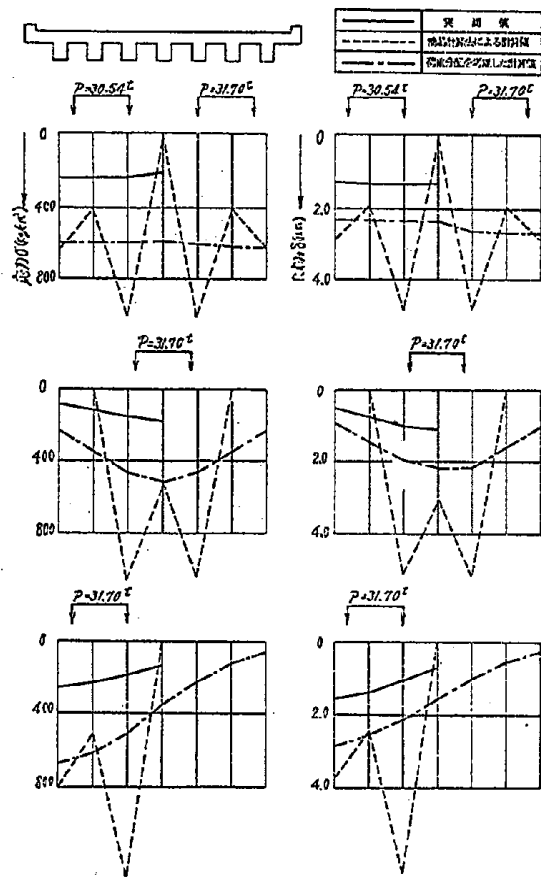


図44-(5) 実橋載荷試験結果

④ 木の茅葺



⑤ 五津大橋

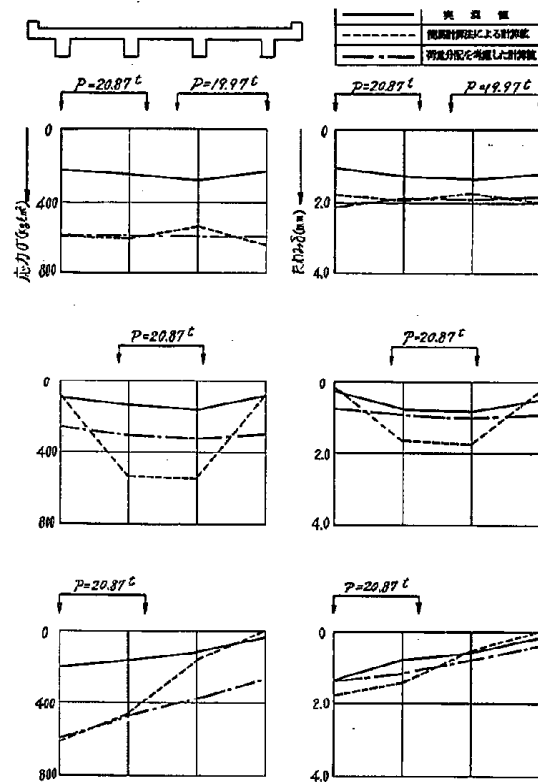
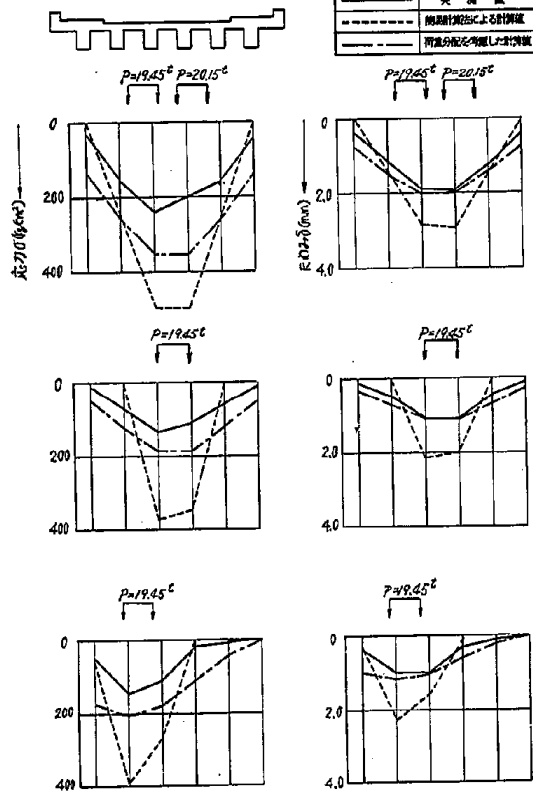


図 44-(6) 実橋載荷試験結果

① 克神橋



② 切戸橋

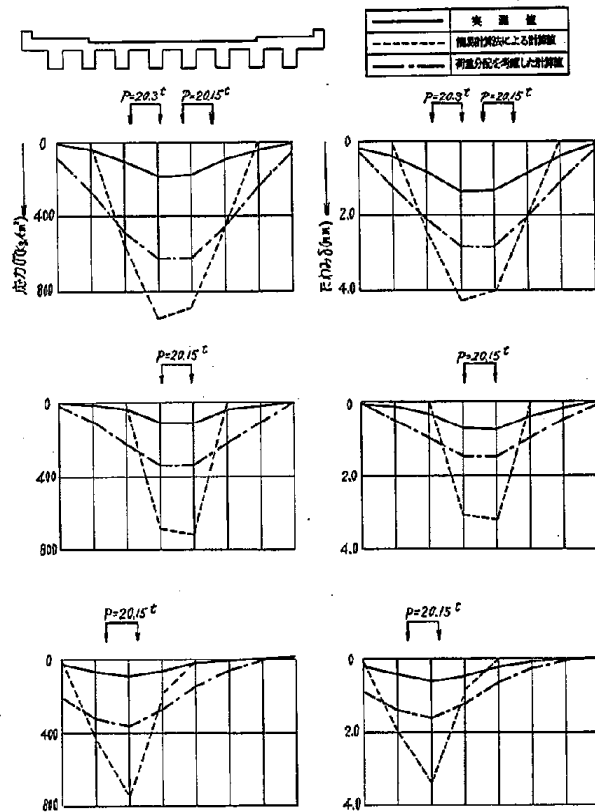
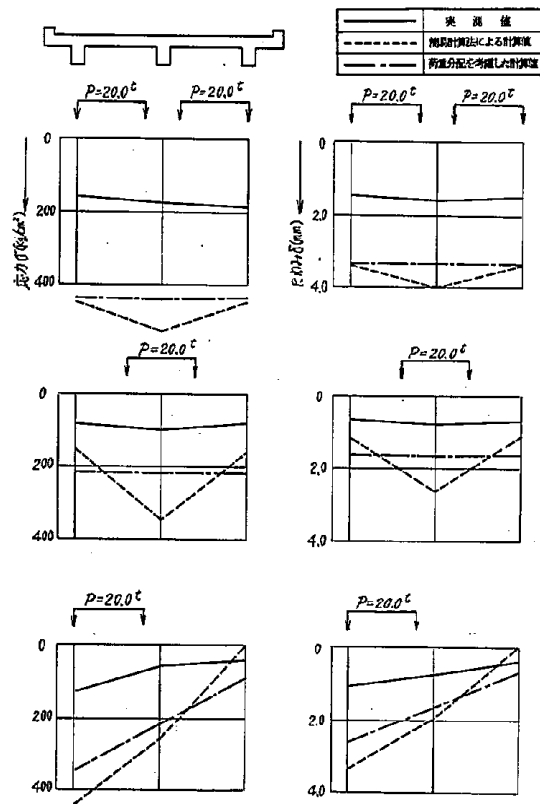


図44-(7) 突橋載荷試験結果

⑤ 新在川橋



⑥ 橋市橋

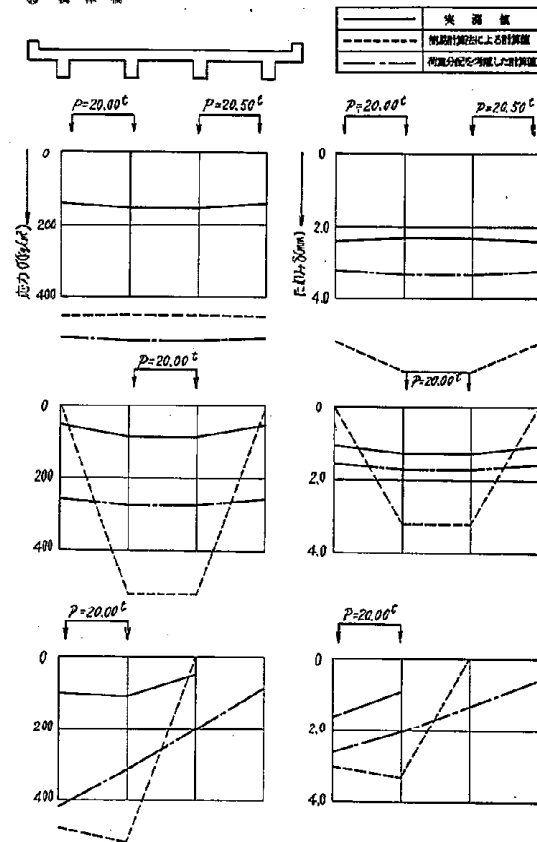
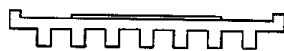
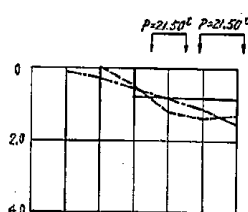
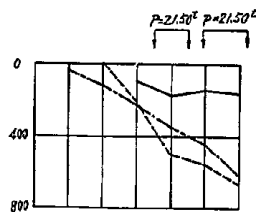
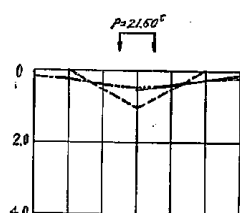
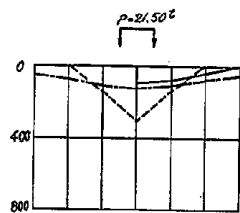
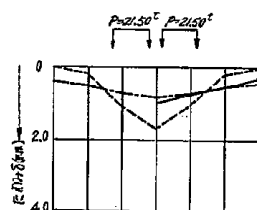
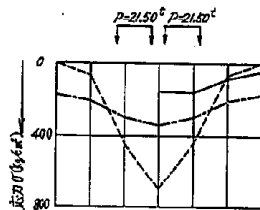


図 44-(5) 実橋載荷試験結果

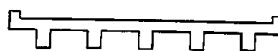
① 新可橋



—	実測値
- - -	断面計算法による計算値
— · —	荷重分配を考慮した計算値



② 比嘉橋



—	実測値
- - -	断面計算法による計算値
— · —	荷重分配を考慮した計算値

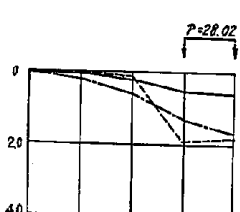
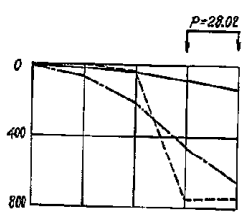
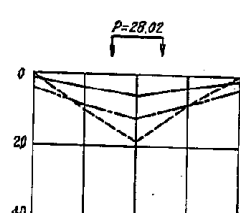
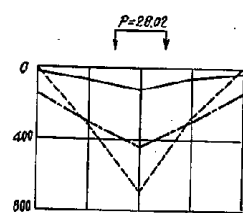
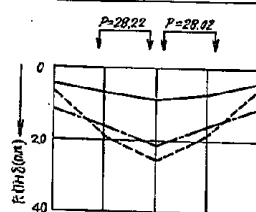
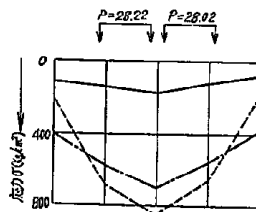


図 44-(9) 突橋載荷試験結果

表-1 コンクリート強度試験結果

場 所 名	コンクリートコアによる強度				ヤング係数		シュミットハンマーによる推定圧縮強度				超音波伝播速度			
	部 材	供試体数	平均値(kg/cm ²)	変動係数(%)	平均値(kg/cm ²)	変動係数(%)	部 材	測点数	平均値(kg/cm ²)	変動係数(%)	部 材	測点数	平均値(km/s)	変動係数(%)
1 間内橋	主げた1	1	221		372,000		主げた1	14	346	23.59	主げた1	14	3.56	20.22
	# 2	1	180				# 2	#	355	9.82	# 2	#	3.18	8.18
	# 3	1	213		408,000		# 3	#	397	10.06	# 3	#	3.19	12.85
	# 4	1	286				# 4	#	370	15.36	# 4	#	4.11	13.87
	床 版	3	308	22.75	428,000	1.98								
2 思根内橋	主げた1	1	276		446,000		主げた1	32	388	6.04	主げた1	32	3.70	17.84
	# 2	1	224		270,000		# 2	#	421	6.45	# 2	#	3.68	17.12
	# 3	1	254		364,000		# 3	#	405	7.11	# 2	#	3.87	14.73
	床 版	3	454	10.79	417,000	5.76								
3 古川橋		3	380	2.96	372,000	5.91		11	448	11.89				
4 湯沢橋							主げた	4	499	3.19				
							横げた	3	530	8.56				
							床 版	4	540	5.22				
5 白旗橋							主げた	20	479	7.64				
6 大 橋							主げた	18	421	8.74				
7 小山橋	主げた1	3	179	17.01	186,000	4.132	主げた A断面	12	294	20.22	主げた A断面	29	3.52	10.30
	# 2	4	287	33.47			B #	#	338	23.02	B #	37	3.61	9.43
	床 版	7	220	69.51			C #	#	280	23.36	C #	18	3.28	13.08
							D #	#	435	17.02	D #	38	3.60	10.32
8 荒井橋	主げた	5	467	12.90	314,000	1.547	主げた	8	438	18.89				
	床 版	5	455	4.68	342,000	8.76	床 版	5	484	25.29				
9 佐屋大橋								5	389	21.03				
11 中津川橋	主げた	5	113	34.80	206,000	3.689	主げた	2	358	18.20	主げた	2	3.68	7.07
	床 版	5	135	31.55	268,000	3.284	床 版	1	254					
12 八幡川橋	床 版	6	262	19.45										
13 榎瀬橋	床 版	7	224	13.62										
16 紅葉橋	主げた	8	211	12.84	189,000	1.640	主げた	5	451	5.31				
	床 版	2	214	12.25	241,000	0.00	床 版	5	468	13.19				
17 瀬 社 橋							主げた	6	426	12.47				
							床 版	4	468	5.98				
18 伊 芸 橋		6	274	16.66	288,000	3.47		3	505	16.36				
19 風 嘉 橋		6	302	10.51	313,000	11.50		3	500	14.14				

表-2 鉄筋引張強度試験表

橋梁名	鉄筋径 (mm)	供試体数	降伏点		引張強度	
			平均値(kg/cm ²)	変動係数(%)	平均値(kg/cm ²)	変動係数(%)
1 間内橋	25	21	3090	2.2	4438	1.7
	13	6	3830	5.2	5725	4.96
2 恩根内橋	32	21	2372	3.9	3727	7.1
	12	6	2710	8.7	3600	13.0
7 小山橋	32	14	2782	11.3	3969	8.2
	12	5	3086	13.2	4332	8.7
8 荒井橋	D29	5	2960	6.6	4496	8.8
	13	5	3534	4.8	4630	4.2
11 中津川橋	25	4	2520	2.1	3630	0.7
16 紅葉橋	25	6	2697	4.0	3646	3.5
18 伊芸橋	11	5	4211	9.1	6416	5.4
19 屋嘉橋	11	5	4547	3.9	6110	5.4

☆鉄筋重量を計測し単位重量7850Kg/mと求めた
 注) 鉄筋断面積から逆算してmm単位に求めた値である。

表-3 鉄筋探知器によるかぶり厚の推定精度

橋梁名		鉄筋径	実測かぶり 平均値(mm)	推定値誤差 平均値(mm)	推定値誤差平均値 実測かぶり平均値(%)
1	間内橋	φ32	76.3	16.3	21
7	小山橋	φ32	55.1	4.3	8
8	荒井橋	φ29	38.2	3.4	9
9	佐屋大橋	φ28	50.0	15.1	30

表-4 調査対象橋梁概要(1)

整理 番号	注1) 橋梁名	路線 番号	所在地	竣工年次	注2) 適用設計 荷重	支間 (m)	車道幅員 (m)	主けた 本数	傾角	コンクリート 舗装 (cm)	アスファルト 舗装 (cm)	中間橋 げた	外観および損傷状況
1	間内橋	238	北海道枝幸郡 枝幸町	S. 26	S.14.1	7.5 X2	5.0	4	90°	なし	土砂 10~15	あり	曲げひびわれの発生は認められるが、コンクリートは比較的健全。
2	恩根内橋	40	北海道中川郡 美深町	S. 12	T.15.1	16.0 X7	5.5	3	90°	なし	8	なし	曲げひびわれの発生は認められるが、コンクリートは比較的健全。
3	古川橋	112	山形県	S. 2	T.15.3	11.03	6.54	4	90°	4	15	あり	曲げひびわれの発生は認められるが、コンクリートは比較的健全。
4	湯沢橋	7	山形県鶴岡市	S. 31	S.14.1	14.1	7.5	4	90°	なし	6	あり	施工不良による豆板が所々にあり、かなりの曲げひびわれが発生している。
5	白旗橋	50	栃木県足野市	S. 8	T.15.3	11.98 X7	7.5	4	90°	4	4	なし	曲げひびわれがかなり発生しており、所々かぶり不足が原因と思われるコンクリートの剥離が認められる。コンクリート表面もかなり風化している。
6	大橋	50	"	S. 2	"	7.77 X5	7.27	6	90°	なし	15	なし	ひびわれはほとんど認められず、コンクリート表面もかなり健全。
7	小山橋	49	新潟県新潟市	S. 11	T.15.3	13.5+18.2 +13.5	7.0	3	90°	11	10	あり	主に、施工不良が原因と思われるコンクリートの剥離が認められ、曲げひびわれもかなり発生している。
8	荒井橋	153	愛知県豊田市	S. 6 ~S. 8	T.15.2	9.3 X9	5.47	5	90°	"	7~11	なし	ヘアークラック以外のひびわれの発生はほとんど認められず、コンクリート表面もかなり健全。
9	佐賀大橋	1	愛知県	S. 8	"	10.10	11.00	6	60°	10~23	なし	あり	主けた、床版のいずれにもひびわれの発生が認められる。
10	不動川橋	24	京都府和泉郡 山崎町	S. 22	S.14.1	14.75	7.70	3	56°	30	5	なし	コンクリートの施工不良が原因と思われる豆板、遊離石が数多く認められ曲げひびわれもかなり発生している。
11	中津川橋	42	和歌山県 和歌山市	昭和初期	T.15.2	13.9	13.9	6	90°	32	9	あり	主けた下部のコンクリートの風化が進行しており主鉄筋のかぶりコンクリートは、ほとんど剥離している。しかし、その他の部分は比較的健全。
12	八幡川橋	2	広島県佐伯市	S. 8	"	12.2+12.2 +12.2	10.1	6	75°45'	13	なし	あり	主鉄筋のかぶりコンクリートが所々剥離しており、また、打眼目が原因と思われるひびわれが、床版、横げたに発生している。
13	横瀬橋	2	"	S. 7	T.15.3	7.37	10.0	8	71°25'	5~12.5	16	なし	主鉄筋のまわりのコンクリートに締め固め不良、鉄筋のあき不足が原因と思われる空隙があり、所々コンクリートが剥離している。また、床版にもかぶり不足による鉄筋の腐食が原因と思われるかぶりコンクリートの剥離が認められる。
14	明安橋	11	愛媛県周桑郡 小松町	S. 7	T.15.2	12.0	7.07	5	59°	2.8	12.5	なし	曲げひびわれの発生は認められるがコンクリート表面は比較的健全、ただし床版のひびわれには、所々に遊離石が認められる。
15	山崎橋	32	香川県高松市	S. 5 ~S. 8	"	10.0	6.5	4	47°30'	5	12.0	あり	曲げひびわれの発生は認められるが、コンクリートは比較的健全。
16	紅葉橋	3	熊本県八代市	S. 8	T.15.3	10.6 X6	8.0	6	77°07'	なし	7.5	なし	コンクリートの品質や工法施工はあまり良くないようであるが、大きなひびわれ、かぶりの剥離等は認められない。
17	瀬田橋	10	大分県宇佐市	S. 12	"	11.7 X7	6.5	4	90°	"	10.5	なし	曲げひびわれの発生は認められるが、コンクリートは比較的健全。
18	伊奈橋	329	沖縄県金武村	S. 28	AASHO HS-20	9.5	8.51	6	63°	"	9	なし	曲げひびわれが数多く発生しており、けた部には斜めひびわれも発生しており、一部に主鉄筋のかぶりコンクリートの剥離も認められる。
19	星嘉橋	329	"	S. 27	"	8.2	8.0	5	83°	"	なし	なし	曲げひびわれが数多く発生しており、主鉄筋にそって幅1cmにも達するひびわれが発生しており鉄筋が露くさびている。

注1) *を付した橋梁は連続橋である。

注2) T.15.1, T.15.2, T.15.3はそれぞれ大正15年制定の内務省道路構造に関する規則による1等橋、2等橋、3等橋であり、S.14.1は昭和14年制定の側道路橋設計示方による1等橋である。

表-5 調査対象橋梁概要(2)

整理 番号	注1) 橋梁名	路線 番号	所在地	竣工年次	注2) 通用設計 荷重	支間 (m)	車道 幅員 (m)	主桁た 本数 (本)	斜角	床版厚 (cm)	コンクリート 舗装 (cm)	アスファルト 舗装 (cm)	中間 橋たけ	外観および損傷状況
1	相沼内橋	229	北海道橋樑町 鹿石町字相沼	S.29	S.14.1	11.00	3.55	3	90°	20.0		7	あり	曲げひびわれが数多く発生しており、風化及び施工不良が原因と思われるコンクリートの剥離が認められる。また、床版コンクリート表面で所々遊離石灰が認められるがその他は比較的健全
2	松島橋	4	岩手県宮古郡 高沢村大字松島	S.10	T.15.2	12.00	7.0	4	90°	25.0		21	あり	曲げによるひびわれが所々発生しているがコンクリート表面は比較的健全。また、風化及び施工不良が原因と思われる遊離石灰が認められる。
3	本郷橋	48	山形県天童市 川原字本郷	S.8	T.15.3	11.74	5.5	4	90°	14.0	4	10	なし	主桁、床版とも曲げひびわれが数多く発生しており、所々かなり不足によるコンクリートの剥離や剥離が認められる。特に、張出部の床版下面において鉄筋の露出が認められ、風化もかなり進行している。
4	野崎橋	4	栃木県大田原市 上澤	S.12	T.15.2	22.50	7.5	4	90°	16.0		15	なし	曲げひびわれが数多く発生しており、大きい所では 0.4mm に達するものもある。また一部にコンクリート剥離や遊離石灰が認められる。床版コンクリート表面の一部に鉄筋や鉄筋が認められるが他は比較的健全。
5	上成橋	254	東京都板橋区 大谷口北町46	S.13	T.15.2	13.21	16.5	15	86°20'	40.0		5.5	あり	主桁下部のコンクリートが、所々剥離と鉄筋の露出が認められる。また一部に曲げひびわれも認められるが床版コンクリートの表面は比較的健全。
6	花水橋	1	神奈川県足柄上 郡大磯町高麗	S.2	T.15.1	12.26	9.2	6	81°	21.0		14.2	なし	主に施工不良と思われるコンクリートの剥離が認められ、曲げひびわれもかなり発生している。また、外桁において一部モルタルで化粧したところが認められる。床版コンクリートの表面は所々遊離石灰が認められるが他は比較的健全。
7	久江橋	159	石川県鹿島郡 鹿島町久江	S.7	T.15.2	8.48	5.91	5	90°	20.0		12.5	なし	コンクリートの施工不良と思われる鉄筋や遊離石灰が数多く認められる。また、かなり不足による鉄筋の露出が認められる。
8	千瀬新橋	159	石川県羽咋郡 志保町	S.13	T.15.2	8.60	6.05	4	90°	23.5		4.5	あり	主桁コンクリートの補修がしてあるが、所々 0.1 ~ 0.3 mm程度のひびわれが発生している。床版コンクリート表面はいたる所に鉄筋や遊離石灰が認められ、一部にコンクリートの剥離が認められる。
9	同心橋	1	静岡県掛川市 川	S.9	T.15.2	11.76	7.51	5	65°34'	21.0		10	なし	主桁下部より腹筋にまで達しているひびわれがかなり多く認められ、所々風化及び施工不良が原因と思われるコンクリートの剥離や一部コンクリートの剥離も認められる。
10	徳水橋	156	岐阜県郡上市 大和村徳水	S.9	T.15.2	12.00	6.05	3	90°	15.5		4.6	あり	主桁、床版コンクリートとも曲げひびわれが数多く発生しており、桁下より腹筋に達しているものもあり多く認められ、一部にコンクリートの剥離も認められるが、横桁は比較的健全。
11	水ノ芽橋	8	福井県敦賀市 市	S.5	T.15.2	11.50	7.50	7	83°	20.0	5	10	なし	主桁の、施工不良が原因と思われるコンクリートの剥離やかなり不足による鉄筋の露出が認められる。また、床版コンクリート表面は施工不良による鉄筋が所々にあり、所々に鉄筋の露出が認められる。
12	玉津大橋	175	兵庫県神戸市 垂水区玉津出合	S.9	T.15.3	9.65	6.06	4	64°07'	13.6	4.6 ~10.6	5	あり	曲げひびわれや遊離石灰が数多く発生しており、所々、コンクリートの補修も認められる。また、主に施工不良が原因と思われる鉄筋の露出が一部に認められる。
13	高津橋	188	山口県下松市 市	S.18	S.14.1	11.74	7.5	6	90°	15.0	5	5	あり	主桁下部のコンクリートの風化が進行しており、主鉄筋のかなりコンクリートは、ほとんど剥離している。また、床版コンクリート表面は全面にわたって亀裂状の小さなひびわれや遊離石灰が数多く認められる。
14	切戸橋	188	山口県下松市 保岡作	S.16	S.14.2	10.35	10.0	8	78°15'	15.0		10	あり	主桁、コンクリートの劣化、施工不良、かなり不足が原因と思われるコンクリートの剥離が多く認められる。また、床版コンクリート表面は方向性のないヘアークラックが認められ、所々コンクリートの剥離や鉄筋の露出が認められる。
15	新北川橋	56	高知県須崎市 市	S.8	T.15.2	14.35	5.5	3	90°	15.0	5	8	あり	主に、施工不良やかなり不足が原因と思われるコンクリートの剥離や鉄筋の露出が認められるが、曲げひびわれの発生は認められず、床版コンクリート表面はかなり健全。
16	横津橋	10	大分県宇佐市 大字横津	S.29	S.14.1	16.10	7.5	4	77°05'	25.0		4	あり	曲げひびわれがかなり発生しており、所々施工不良が原因と思われるコンクリートの剥離や鉄筋の露出が認められる。床版コンクリート表面はヘアークラックが認められる程度でコンクリートもかなり健全。
17	新町橋	3	熊本県熊本市 市	S.10	T.15.1	11.34	10.3	7	90°	25.0	10	15	あり	主桁下部のコンクリートのかなり不足及び風化が原因と思われる鉄筋の露出やコンクリートの剥離が認められるが、そのほかはかなり健全、床版コンクリート表面も比較的健全。
18	比嘉橋	58	沖縄県豊後村 伊武	S.28	AASHO	10.48	8.46	5	65°36'	17.0	5	14	なし	主に、鉄筋の露出によるかなりコンクリートの剥離や鉄筋の露出が認められる。しかし、床版コンクリート表面はかなり健全。

注1) *を付した数字はダブバー橋である。

注2) T15.1、T15.2、T15.3はそれぞれ大正15年制定の内務省道路橋梁に関する規則による1等橋、2等橋、3等橋であり、S14.1、S14.2は昭和14年制定の道路橋梁設計示方書による1等橋、2等橋である。

表-6 終局強度の計算値と実測値

(単位: tm)

橋梁名		計算値	実測値	現行設計荷重による 曲げモーメント
1	間内橋(1)	71.01	62.40	26.77
	"(2)	71.66	60.45	26.77
2	恩根内橋	304.91	337.50	185.15
8	荒井橋(1)	96.40	104.52	43.40
	"(2)	96.42	103.55	43.40
16	紅葉橋	92.45	94.00	52.02

表-7 旧設計荷重による応力度

橋梁名		通用設計荷重	σ_c (kg/cm ²)			σ_s (kg/cm ²)		
			死荷重	活荷重	合計	死荷重	活荷重	合計
1	間内橋	S.14.1	10.1	22.9	33.0	333	756	1089
2	恩根内橋	T.15.1	24.6	16.4	41.0	702	468	1170
3	古川橋	T.15.3	16.0	11.3	27.3	649	458	1107
4	湯尻橋	S.14.1	28.8	10.4	39.2	963	347	1310
5	白旗橋	T.15.3	17.7	9.9	27.6	698	393	1091
6	大橋	T.15.3	14.9	6.4	21.3	545	232	777
7	小山橋	T.15.3	21.4	7.8	29.2	954	347	1301
8	荒井橋	T.15.2	18.4	16.9	35.3	552	505	1057
9	佐屋大橋	T.15.2	18.5	12.8	31.3	694	478	1172
10	不動川橋	S.14.1	19.0	12.4	31.4	705	460	1165
11	中津川橋	T.15.2	19.2	8.9	28.1	806	375	1181
12	八幡川橋	T.15.2	21.0	12.0	33.0	673	390	1063
13	榎浦橋	T.15.3	20.7	9.2	29.9	752	424	1176
14	明安橋	T.15.2	20.7	10.3	31.0	761	377	1138
15	山崎橋	T.15.2	14.5	14.1	28.6	566	548	1114
16	紅葉橋	T.15.3	15.3	8.9	24.2	772	445	1217
17	瀬社橋	T.15.3	21.7	5.6	27.3	1250	320	1570
18	伊芸橋	AASHO	20.4	13.3	33.7	655	587	1242
19	星嘉橋	AASHO	10.3	16.2	26.5	323	509	832

表-8 現行設計荷重による応力度

橋 梁 名		適用設計荷重	コンクリート舗装考慮せず						コンクリート舗装考慮					
			σ_c (kg/cm ²)			σ_s (kg/cm ²)			σ_c (kg/cm ²)			σ_s (kg/cm ²)		
			死荷重	活荷重	合 計	死荷重	活荷重	合 計	死荷重	活荷重	合 計	死荷重	活荷重	合 計
1	間 内 橋	S. 14. 1	9.9	27.1	37.0	333	912	1245						
2	恩 根 内 橋	T. 15. 1	28.4	23.6	52.0	798	665	1463						
3	古 川 橋	T. 15. 3	21.3	24.6	45.9	864	1002	1866	19.3	22.3	41.6	829	961	1790
4	砂 尻 橋	S. 14. 1	29.3	19.8	49.1	981	657	1638						
5	白 旗 橋	T. 15. 3	19.0	25.6	44.6	750	1013	1763	17.4	23.6	41.0	726	980	1706
6	大 橋	T. 15. 3	13.3	27.6	40.9	484	1007	1491						
7	小 山 橋	T. 15. 3	21.3	21.1	42.4	950	940	1890						
8	荒 井 橋	T. 15. 2	19.4	29.2	48.6	582	875	1457						
9	佐 屋 大 橋	T. 15. 2	20.8	24.6	45.4	781	920	1701	15.4	18.1	33.5	646	762	1408
10	不 動 川 橋	S. 14. 1	27.9	15.6	43.5	1035	578	1613	27.9	12.1	40.0	1035	485	1520
11	中 津 川 橋	T. 15. 2	20.1	15.3	35.4	928	704	1632	20.1	14.3	34.4	948	671	1619
12	八 幡 川 橋	T. 15. 2	9.0	27.0	36.0	504	1460	1964	7.0	19.0	26.0	403	1166	1569
13	榎 浦 橋	T. 15. 3	18.0	26.0	44.0	769	1114	1883	14.0	20.0	34.0	657	951	1608
14	明 安 橋	T. 15. 2	30.1	20.3	50.4	1103	745	1848	28.0	19.0	47.0	1049	725	1774
15	山 崎 橋	T. 15. 2	15.7	27.6	43.3	710	1019	1729	16.7	24.1	40.8	671	965	1636
16	紅 葉 橋	T. 15. 3	15.3	40.1	55.4	479	1255	1734						
17	瀬 社 橋	T. 15. 3	17.1	26.9	44.0	763	1194	1957						
18	伊 芸 橋	AASHO	17.2	33.3	50.5	551	1069	1620						
19	屋 嘉 橋	AASHO	9.1	27.3	36.4	288	857	1145						

表-9 耐荷力算定計算基礎データ表

橋 梁 名	主桁 本数 N	実断紙 筋量 Asr (cm)	推定鉄筋量 As		設計当時の曲げモーメント*		現在の曲げモーメント (t・m)**				曲げ破壊抵抗モーメント			
			(cm)		Mo (t・m)		中 桁		外 桁		中 桁		外 桁	
			中 桁	外 桁	中 桁	外 桁	M _{Na}	M _{NB}	M _{Na}	M _{NB}	M _{Na}	M _{NB}	M _{Na}	M _{NB}
1 岡 内 橋	4	39.3			23.40		7.16	19.61			55.8	54.6		
2 聖 母 内 橋	3	112.0	108.2		148.03		88.83	96.32			316.1	310.9		
3 古 川 橋	4	50.7	45.8	48.8	39.84	42.49	32.19	31.29	33.17	38.46	97.3	86.2	97.3	91.5
4 湯 沢 橋	4	96.5	109.7		139.47	122.21								
5 白 旗 橋	4	61.6	54.6	58.2	56.36	60.08	37.58	55.79	41.30	55.79	140.3	122.2	140.3	129.9
6 大 井 橋	6	40.2	20.3	20.5	18.95	19.22	12.77	26.57	14.67	20.82	74.3	41.8	74.3	42.4
7 小 山 橋	3	80.4	96.2	120.0	109.04	136.08	47.73	73.92	75.35	74.54	202.3	240.9	203.3	298.9
8 荒 井 橋	5	49.2	46.0	37.1	31.48	25.38	17.34	26.06	15.76	13.13	76.8	70.4	76.8	57.2
9 佐 藤 大 橋	6	61.6	61.1	56.2	53.69	49.56	35.77	42.14	40.25	32.66	118.1	119.7	118.1	159.2
10 不 動 川 橋	3	123.2	118.7	117.6	202.3	200.4	179.7	100.3	183.5	78.9	441.0	425.4	441.0	421.5
11 中 津 川 橋	6	85.1		84.6		127.89			100.54	75.31			272.8	272.3
12 八 幡 川 橋	6	61.6	49.5	53.4	40.65	43.88	33.98	33.89	33.98	39.23	106.6	89.6	106.6	96.6
13 坂 浦 橋	8	29.4	29.8	35.4	18.79	22.31	13.45	16.82	13.45	19.47	45.0	42.1	95.0	49.8
14 明 安 橋	5	61.6	58.4	63.0	54.67	59.00	32.71	33.36	39.45	38.63	130.4	123.9	130.4	133.4
15 山 崎 橋	4	49.3	48.8	42.1	40.23	34.72	26.61	31.74	25.58	36.76	92.5	88.5	92.5	93.4
16 紅 旗 橋	6	49.1	42.4	45.5	31.30	33.60	16.50	22.90	16.50	24.40	82.1	69.2	82.1	74.2
17 瀬 田 橋	4	49.1	57.4	64.5	37.18	64.21	37.00	34.40	37.00	39.80	103.6	125.5	103.6	139.1
18 伊 賀 橋	6	50.7	54.0		37.57		16.66	32.32			77.8	82.7		
19 鳳 凰 橋	5	65.4	47.0		33.15		11.46	34.12			102.2	73.2		
20 相 沼 内 橋	3	63.6	65.1	69.2	70.23	75.52	43.24	53.13			149.7	152.9		
21 松 島 橋	4	65.4	66.2	61.0	79.01	70.65	58.81	38.19	57.32	31.85	172.2	174.4	166.9	145.6
22 本 郷 橋	4	61.6	51.0	55.0	44.69	48.17	31.77	44.90	37.54	38.79	116.4	95.2	116.4	102.4
23 野 崎 橋	4	124.2	106.7	118.5	130.6	145.10	63.60	117.17	86.20	110.75	315.5	272.5	315.4	301.5
24 上 板 橋	15	56.3	82.4		92.91		67.65	37.76			149.1	217.1		
25 花 水 橋	6	58.9	61.8	82.3	73.75	98.21	51.26	45.00	78.64	55.13	146.1	159.0	147.3	212.1
26 久 江 橋	5	38.7	41.0	36.6	27.94	24.17	16.49	21.75	18.27	17.34	58.6	62.0	58.4	55.4
27 子 浦 新 橋	4	40.5	40.5	43.5	27.47	29.54	14.40	22.01	19.65	22.01	64.7	64.7	64.8	69.5
28 岡 心 橋	5	80.4	78.2	75.1	71.74	66.91	37.19	46.89	50.25	41.37	161.6	157.2	161.6	151.2
29 徳 永 橋	3	73.9	78.5	84.0	71.32	76.34	61.94	37.83	66.94	34.86	143.9	152.4	143.5	162.4
30 木 ノ 牙 橋	7	49.1	52.0	52.3	39.94	40.19	27.23	27.40	31.16	24.25	86.7	88.6	87.0	89.4
31 玉 津 大 橋	4	39.3	39.0	37.0	31.09	28.69	21.63	25.79	22.01	22.12	67.5	67.0	67.7	63.8
32 冠 神 橋	6	73.9	76.2		73.60		39.57	54.54			157.0	156.4		
33 切 戸 橋	8	45.2	64.8		45.50		27.26	33.12			72.1	99.3		
34 新 庄 川 橋	3	92.3	81.3	84.3	98.10	101.70	83.59	47.57	92.04	47.57	232.2	205.5	232.3	212.9
35 橋 津 橋	4	80.4	108.0	116.3	108.81	117.18	49.85	76.75	65.08	76.75	168.5	241.7	169.0	260.5
36 新 町 橋	7	61.6	69.1		73.35		52.90	50.15			146.0	163.4		
37 比 嘉 橋	5	50.7	53.9	53.9	49.50	49.50	28.81	40.91	36.31	38.81	103.6	107.4	103.5	107.4

(注) * : 設計当時の死荷重および適用示方書による曲げモーメント
 ** : 現在の死荷重および現行示方書による曲げモーメント

表-10 耐荷力算定計算表(第1の方法)

橋 梁 名	主桁 本数 N	応 力 成 比 f				実測鉄筋量 A_{sr} を用いた耐荷率												指定鉄筋量 A_{s2} を用いた耐荷率			
		中		桁		a_{s1}				a_{s1r}				a_{s2}				a_{s2}			
		中央2列	中央1列	平均	片側1列	中桁	外桁	平均		中桁	外桁	平均		中桁	外桁	平均		中桁	外桁	平均	
1 間 内 橋	4			1.4	1.4	1.243		1.243	1.301	1.301	1.368	1.272	1.368	1.272	1.334		1.272	1.334		1.334	
2 墨 根 内 橋	3			1.4	1.4	1.096		1.096	1.172	1.172	1.269	1.269	1.269	1.166	1.166	1.239		1.166	1.239		1.239
3 古 川 橋	4			1.4	1.4	1.243	0.617	1.030	1.066	0.925	0.996	1.108	0.885	0.997	0.944	0.870	0.907	0.909	0.801	0.855	
4 湯 屋 橋	4			1.4	1.4																
5 白 旗 橋	4			1.4	1.4	0.849	0.864	0.857	0.995	0.967	0.981	0.993	0.952	0.973	0.867	0.895	0.881	0.812	0.848	0.830	
6 大 橋	6			1.4	1.4	0.596	0.759	0.717	1.028	1.393	1.270	1.270	1.564	1.368	0.680	0.795	0.718	0.585	0.706	0.625	
7 小 山 橋	3			1.4	1.4	1.266	1.234	1.245	1.096	0.936	0.889	1.135	0.897	0.976	1.306	1.384	1.368	1.427	1.623	1.558	
8 荒 井 橋	5			1.4	1.4	0.971	1.178	1.054	1.172	1.883	1.456	1.240	2.536	1.758	1.073	1.402	1.205	1.103	1.700	1.342	
9 佐 屋 大 橋	6			1.4	1.4	0.939	0.905	0.928	1.030	1.151	1.070	1.046	1.266	1.119	1.044	1.552	1.213	1.068	1.970	1.359	
10 不 動 川 橋	3			1.4	1.4	0.939	0.975	0.963	1.170	1.287	1.209	1.358	1.697	1.584	1.129	1.230	1.196	1.271	1.559	1.463	
11 中 津 川 橋	6			1.4	1.4																
12 八 幡 川 橋	6			1.4	1.4	0.815	0.826	0.819	1.089	0.992	1.057	1.144	0.988	1.092	0.915	0.899	0.910	0.863	0.845	0.857	
13 櫻 浦 橋	8			1.4	1.4	0.861	0.951	0.884	1.004	0.908	1.001	1.005	0.869	0.971	0.939	1.055	0.956	0.909	1.007	0.934	
14 明 安 橋	5			1.4	1.4	1.128	1.026	1.087	1.365	1.160	1.183	1.585	1.261	1.455	1.297	1.187	1.253	1.476	1.305	1.408	
15 山 崎 橋	4			1.4	1.4	1.089	0.887	0.988	1.169	1.063	1.116	1.235	1.084	1.160	1.118	1.074	1.096	1.165	0.994	1.080	
16 紅 雲 橋	6			1.4	1.4	1.111	1.160	1.127	1.390	1.330	1.370	1.564	1.467	1.532	1.172	1.202	1.182	1.248	1.266	1.261	
17 瀬 田 橋	4			1.4	1.4	1.084	1.145	1.115	1.014	0.927	0.971	1.024	0.855	0.955	1.229	1.204	1.237	1.380	1.384	1.382	
18 伊 奈 橋	6			1.4	1.4	1.104		1.104	1.023		1.023	1.030		1.030	1.087		1.087	1.115		1.115	
19 西 高 橋	5			1.4	1.4	1.084		1.084	1.390		1.390	1.470		1.470	0.995		0.995	0.994		0.994	
20 相 沼 内 橋	3			1.4	1.4	1.010		1.010	1.051		1.051	1.076		1.076	1.073		1.073	1.110		1.110	
21 松 島 橋	4			1.4	1.4	1.070	1.090	1.080	1.296	1.391	1.344	1.576	1.826	1.701	1.312	1.214	1.263	1.608	1.450	1.529	
22 本 郷 橋	4			1.4	1.4	0.816	0.861	0.839	1.011	1.053	1.032	1.016	1.085	1.051	0.827	0.926	0.877	0.751	0.882	0.817	
23 野 崎 橋	4			1.4	1.4	1.046	1.024	1.035	1.130	1.078	1.104	1.173	1.116	1.145	0.976	1.030	1.003	0.968	1.046	1.007	
24 上 坂 橋	15			1.4	1.4	1.135		1.135	1.051		1.051	1.103		1.103	1.530		1.530	2.111		2.111	
25 花 水 橋	6			1.4	1.4	1.032	0.970	1.011	1.068	0.798	0.978	1.116	0.617	0.950	1.168	1.147	1.158	1.277	1.275	1.276	
26 久 江 橋	5			1.4	1.4	0.966	0.919	0.959	1.028	1.144	1.074	1.042	1.238	1.120	1.088	1.084	1.086	1.129	1.141	1.134	
27 子 浦 新 橋	4			1.4	1.4	1.065	0.978	1.065	1.173	1.064	1.119	1.243	1.099	1.171	1.173	1.140	1.157	1.243	1.218	1.231	
28 岡 心 橋	5			1.4	1.4	1.183	1.078	1.113	1.296	1.251	1.278	1.441	1.439	1.440	1.261	1.171	1.225	1.389	1.299	1.353	
29 熊 永 橋	3			1.4	1.4	0.934	0.970	0.958	1.060	1.056	1.057	1.122	1.123	1.123	1.123	1.195	1.171	1.247	1.427	1.367	
30 木 / 芽 橋	7			1.4	1.4	0.996	0.967	0.988	1.100	1.121	1.106	1.180	1.217	1.169	1.123	1.152	1.584	1.198	1.273	1.219	
31 玉 井 大 橋	4			1.4	1.4	0.905	0.911	0.908	0.966	1.062	1.014	0.949	1.100	1.025	0.959	1.002	0.981	0.938	1.004	0.971	
32 荒 神 橋	6			1.4	1.4	1.120		1.120	1.114		1.114	1.165		1.165	1.110		1.110	1.159		1.159	
33 切 戸 橋	8			1.4	1.4	1.054		1.054	0.809		0.809	0.712		0.712	1.114		1.114	1.172		1.172	
34 新 庄 川 橋	3			1.4	1.4	1.035	0.941	0.972	1.313	1.248	1.270	1.615	1.543	1.567	1.162	1.144	1.150	1.337	1.315	1.322	
35 橋 津 橋	4			1.4	1.4	1.365	1.141	1.253	0.878	0.810	0.844	0.829	0.710	0.770	1.259	1.249	1.254	1.361	1.378	1.370	
36 新 町 橋	7			1.4	1.4	1.011		1.011	0.988		0.988	0.800		0.800	1.106		1.106	1.175		1.175	
37 比 嘉 橋	5			1.4	1.4	0.996	0.902	0.958	0.989	0.948	0.973	0.884	0.918	0.958	1.025	0.983	1.008	1.036	0.978	1.011	
						12/35	17/26	14/35	6/35	9/26	9/35	6/35	9/26	10/35	9/35	6/26	8/35	9/35	6/26	8/35	

あ と が き

古いコンクリート橋の耐荷力については、以前からその算定方法の必要性がさげばれていたが、50年、51年の調査によって主桁に関する耐荷力算定方法の案を得た。

これは、4500橋の一般的調査、180橋の算定式および損傷調査、80橋の鉄筋量、鉄筋配置等の推定方法の調査、37橋の実橋載荷試験および6本の主桁の破壊試験を行ない、これらの結果を利用して作成したものである。

しかし、今回までの調査ではまだ十分な検討がなされているとはいいがたく、引き続きコンクリート橋の耐荷力に関する調査、研究を進めていく必要がある。今後の調査研究の内容として、特に次の各点が上げられる。

1. せん断に関する耐荷力

今回は、主桁の曲げについてのみ着目して検討を行っており、せん断については、今後調査を進めて行く必要がある。

2. 損傷のかなり進んだ橋梁に関する耐荷力

今回の調査では、主桁そのものの強度は架設時と変わらないものとして耐荷力を計算している。すなわち、鉄筋が錆びたための断面欠損、コンクリートと鉄筋の付着強度の低下等については考慮していない。このため、これらの事項により主桁そのものの強度が低下しているような、損傷の進んでいる橋梁については今後検討していく必要がある。

3. 鉄筋量推定式の精度

鉄筋量を正しく推定することは、耐荷力算定の精度を上げることであり、非常に重要な意味を持つ。今回の調査では、推定鉄筋量が±20%程度実際の鉄筋量よりばらついており、必ずしも良い精度とはいえない。

今後はこの点について、さらに検討を加え、推定精度を上げるかまたはばらつきに対して安全率を考慮していくかして、耐荷力算定の信頼性を上げて行く必要がある。

4. 耐荷力算定法を実際に用いた場合の資料の収集

耐荷力の算定を実橋において、より多数の橋梁について行なった場合のデータを収集し、問題点を把握していく。また、古いコンクリート橋の載荷試験および破壊試験に関するデータをさらに収集、分析していく。

以上、この課題で調査研究を進めてきたもう一つの収穫は、一般にみられる程度のコンクリート橋の損傷原因が耐荷力の大小とあまり深い関係がないことを把握したことである。したがって、損傷を受けていなくても補強する必要のある橋梁も存在するし、逆に耐荷力は十分であるが鉄筋の防蝕等の補修を行なっていく必要のある橋梁もでてくる。すなわち、古いコンクリート橋の点検は、耐荷力の大小にかかわらず、増々重要になってくるといえよう。