

シミュレーションによる既設鉄筋コンクリート橋
の耐荷力の評価[†]EVALUATION OF THE LOAD CARRYING CAPACITY OF EXISTING
REINFORCED CONCRETE BRIDGES BY COMPUTER SIMULATION

藤井 卓*・太田 利隆**・前川 静男***

By Takashi Fujii, Toshitaka Ohta and Shizuo Maekawa

1. ま え が き

旧設計荷重で設計された道路橋の適正な供用荷重を定めることは、道路管理上必要なばかりでなく、道路整備にあたっては、さらに供用可能か否かを判定するうえで不可欠のことである。

現行よりも小さい荷重で設計され、劣化の進行した既設道路橋に対して、管理者は供用荷重をできるだけ低くおさえて、安全度を確保しようとする傾向にあり、一方、社会的・経済的には、十分な安全度を有し、かつ、できるだけ現行設計荷重に近い供用荷重が要望される。したがって、既設橋の供用荷重算定においては、できる限り合理的な指針を作成して、社会的要求にこたえることが必要である。

既設道路橋の供用荷重算定指針としては、鋼橋に対しては鋼道路橋供用荷重算定指針¹⁾が提案されている。また、主として上記指針に基づいて作成された特認荷重算定要領²⁾においては、鉄筋コンクリート橋についても同要領に準拠することとなっている。鉄筋コンクリート建築物の耐荷力算定指針の一例としては、ACIにより示されているが、コンクリート橋に適用するには不十分である³⁾。また、鉄筋コンクリート橋の耐荷力算定指針については、その手順の論理的な考察がなされている程度である⁴⁾。鉄筋コンクリート橋では、その力学的挙動が複雑なうえデータが不十分で、供用荷重算定方法について実際の具体的な提案はまだなされていない。

一般に既設構造物の破壊荷重を的確に求めることは困難であり、現在もおお構造工学の分野における重要な課題のひとつとなっている⁵⁾。構造物の設計が、単純化し

た荷重を用い、各部材の相互作用など構造物の力学的挙動についても比較的単純化した条件のもとで、断面寸法を求めるのに反して、耐荷力の算定は載荷試験あるいは構造解析などを行って、その構造物の破壊荷重を求めるという設計とは逆の手順となる。このため部材を構成する材料、断面、部材の相互作用などの力学的挙動の解明のほかに、供用期間中に生ずる荷重特性などについても十分な資料が必要であり、今後の研究に待たれる問題が多いのが現状である。

既設鉄筋コンクリート橋の耐荷力を求める方法としては、一般に載荷試験、模型実験、構造解析などがあるが、本研究は構造解析による方法に該当するものである。構造解析による方法は、各種の多数のデータと鉄筋コンクリート橋の力学的挙動を的確に把握する必要はあるが、実用上のあつかいが簡便で構造物に損傷を与えず、また費用も少なく好ましい方法といえる。

破壊荷重を解析的に求め所要の安全度を確保して供用荷重を決定する手法は、いわゆる構造物の安全度解析であり、Freudenthalらの研究^{6),7)}により発展し、鉄筋コンクリートの分野でもCornell大学での研究⁸⁾⁻¹¹⁾などにより活発となった。確率論的手法を用いた鉄筋コンクリート構造の安全度解析としては、単体のはりをあつかった研究^{12),13)}があり、鉄筋コンクリート橋への応用の例としては著者らの研究があるが¹⁴⁾、本研究は確率論的なアプローチを既設鉄筋コンクリート橋の耐荷力の算定に適用したものである。

本研究では、架設後長期を経た支間5~15m、幅員6m程度(2車線)、主桁3~5本、端横桁および中間横桁1本を有する単純鉄筋コンクリートT桁橋の耐荷力を求める方法として、廃橋となった鉄筋コンクリート橋について著者らが行った調査結果に基づいて、コンクリート強度、鉄筋の降伏点強度、腐食による鉄筋の断面損失率および輪荷重位置などをランダム値としてあつかい、シミュレーションモデルを用いて終局荷重のランダムサ

† 土木学会第27、第28回年次学術講演会にて一部発表

* 正会員 函館工業高等専門学校助教授土木工学科

** 正会員 工修 北海道開発局土木試験所 コンクリート研究室、副室長

*** 正会員 北海道開発局 札幌新道建設事務所、所長

ンプリングを行う手法を示し、さらに安全度解析を応用して許容荷重を決定する実用的簡便法を示したものである。なお、本文において、「終局荷重」とは橋構造が有する終局強度を自動車荷重に換算した終局自動車荷重とし、安全度を含まないサンプル個々の値であり、「許容荷重」とは橋の通行に許容しうる最大自動車荷重であり、所要の安全度を含んだ値であるとする。

2. 荷重の配列

橋を通過する自動車自体ランダムであり自動車の構造規格はすべてランダムであるが、橋の最終的な耐荷力の決定という観点からは、一般の交通車両のうちトラックなどのような大型自動車を対象とし、輪荷重間隔および前後輪荷重の比は道路橋示方書に示される値を用い確定値とする。道路橋示方書において車間距離は7mとしているが、交通流が通常の場合一般に車間距離は7m以上となり、交通流がほとんど停滞するような渋滞状態においては約1mである¹⁵⁾。後輪荷重が支間中央に載荷された場合、支間が8m未満では上記の車間距離を用いれば、通常時および渋滞時ともに後輪荷重のみが載荷され、支間が8m以上15m以下の場合、通常時で自動車1台分の前後輪荷重が載荷され、渋滞時では自動車1台分の輪荷重の他に追従車の前輪荷重が載荷され

る。本研究においては通常時のみをあつかい、支間8m未満では後輪荷重のみが載荷され、支間8m以上15m以下では前後輪荷重が載荷されるものとする。

自動車が橋を通過する場合、ほぼ車線内を通るが通過位置は一定していない。全国調査の結果¹⁵⁾によれば車線幅が3~4mの2車線橋においては、左側後車輪の通る位置は、中央線から測ってその期待値は車線幅の65.3~75.5%であり、その標準偏差の期待値は35.4cmである。Fig. 1は調査結果の一例を正規確率紙にプロットしたものであるが、その分布はほぼ正規分布をなすと判断される。本研究においては、輪荷重通過位置をランダム値とし、対象としている2車線橋において自動車が片側車線のみにあるものとする。

3. 材料の特性^{16),17)}

(1) コンクリート強度

廃橋となった鉄筋コンクリート橋の取壊し調査によれば、コンクリート圧縮強度の分布はFig. 2の正規確率紙にその一例を示すようにほぼ正規分布と考えられ、したがって、当該橋の調査からコンクリート強度の期待値および標準偏差を求めれば、そのランダム値は次式となる。

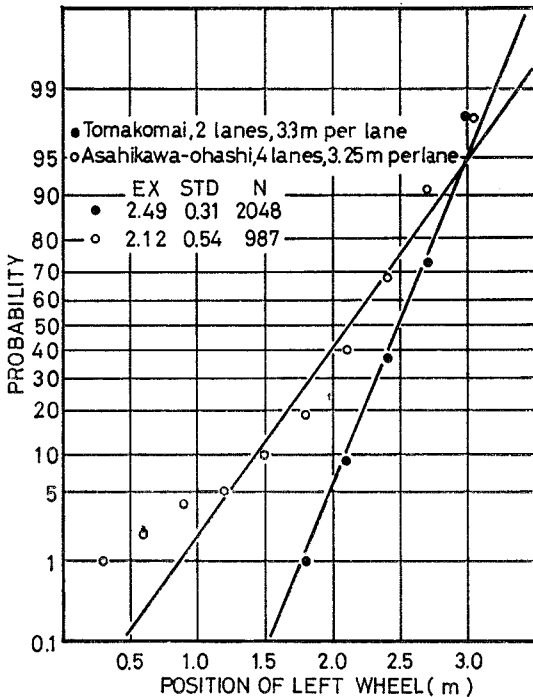


Fig. 1 Typical examples for distribution of position of left wheel measured from right side end of lane

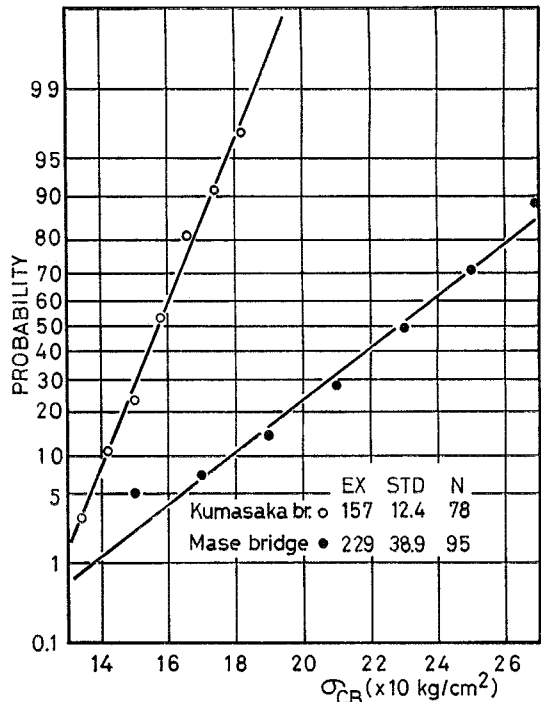


Fig. 2 Typical examples for distribution of compressive strength of concrete

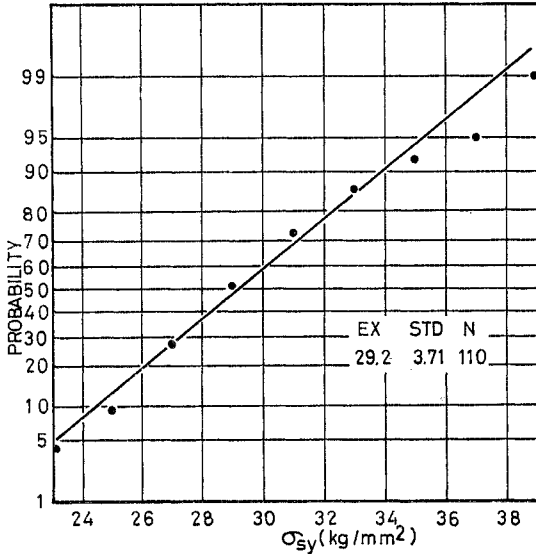


Fig. 3 Distribution of yield strength of reinforcing steel

$$\sigma_{CB}^* = EX_C + SD_C \cdot F_N(R) \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここに、

- EX_C : コンクリート圧縮強度の期待値
- SD_C : コンクリート圧縮強度の標準偏差
- $F_N(R)$: 正規乱数
- R : 一樣乱数

(2) 鉄筋の降伏点強度

調査した 11 橋のおおのからランダムに 10 個の試験値をとり、昭和初期から 20 年代に製造された鉄筋を 1 ロットとすれば、鉄筋の降伏点強度の分布は Fig. 3 のとおりであり、ほぼ正規分布と考えられる。したがって、鉄筋の降伏点強度のランダム値は次式で表わされる。

$$\sigma_{SY}^* = EX_S + SD_S \cdot F_N(R) \quad \dots\dots\dots (2)$$

ここに、

- EX_S : 鉄筋の降伏点強度の期待値
- SD_S : 鉄筋の降伏点強度の標準偏差

(3) 鉄筋の断面損失率

断面を構成する残存鉄筋断面積と設計荷重から推定した設計鉄筋断面積の比を鉄筋断面残存率とし、(1-残存率)を鉄筋の断面損失率とする。また、主鉄筋位置におけるかぶりコンクリートの損傷状態を次のように分類する。

状態 1-2: 主鉄筋にそった縦ひびわれの発生の有無に関係なく、かぶりコンクリートにはく離を生じていない場合。

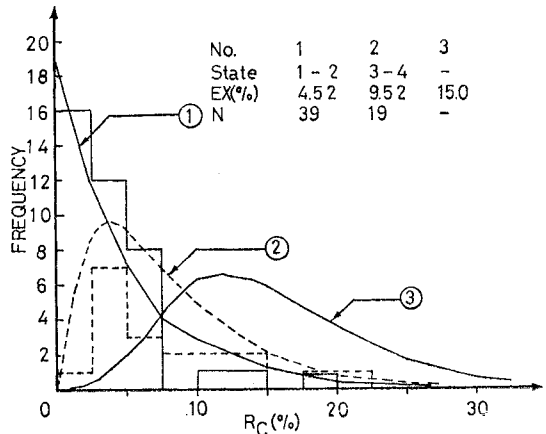


Fig. 4 Distribution of loss of cross sectional area in reinforcing steel

状態 3-4: かぶりコンクリートのはく離が部分的あるいは全面的に生じている場合。

鉄筋断面損失率を状態 1-2 および状態 3-4 を、それぞれ 1 ロットとし調査結果をヒストグラムで示すと Fig. 4 のとおりである。鉄筋断面損失率は、一般にアーラン分布と推定されるが、状態 1-2 の場合はほぼ指数分布を用いてよいと考えられる^{(16),(17)}。しかし、状態 3-4 では全体としてサンプル数が少なく明確ではないが、調査橋のなかで最も鉄筋腐食の進行した場合でも、断面損失率が 20% 程度であることを考慮すれば、その分布は実用的には指数分布を仮定できると思われる。したがって、本文では鉄筋断面損失率のランダム値は次式で与えるものとする。

$$R_C^* = -EX_{CR} \cdot \ln(R) \quad \dots\dots\dots (3)$$

ここに、

EX_{CR} : 鉄筋断面損失率の期待値

4. 解析方法

(1) 破壊形式

破壊の基準としては橋構造の一部としての 1 主桁が破壊し、立体構造をなす橋全体が機構に達するには、まだ十分耐荷力に余裕はあるが正常な自動車通行に支障をきたす状態とモーメントの再分配を伴って複数桁が破壊し最終的に橋構造全体が機構に達する状態とが考えられる。本解析においては、一般自動車の通行に不都合な状態に相当する前者の破壊状態をもって破壊の基準とする。また、橋は主桁、端横桁、中間横桁および床版で構成され、主体となる主桁の破壊に対して、他の部材が協同作用するものと考え、床版あるいは横桁単独の破壊は生じないものとする。

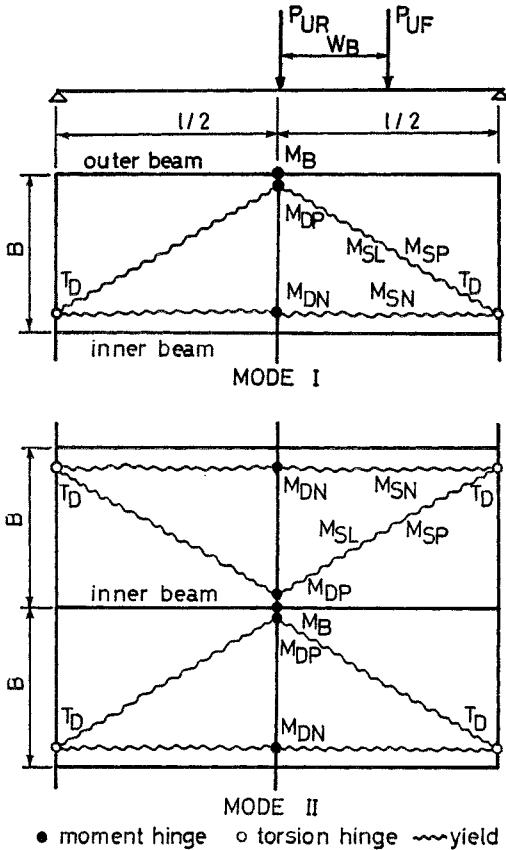


Fig. 5 Failure modes of bridge

破壊の基準にしたがえば、最初に主桁にヒンジを発生した状態をもって破壊に達したとするので、自動車荷重が横桁あるいは床版によって、単純に主桁へ分配されるとすれば、各主桁に分配された格点荷重の大きさによって種々の破壊形式が考えられる。また、破壊形式それ自体がある確率をもって生ずる不規則現象であるが、ここでは Lash らの実験結果^{18),19)}を参考にして、破壊形式は外桁で破壊が生じる場合、および、中桁で生じる場合のいずれかであると仮定する。すなわち、輪荷重から各主桁に分配される格点荷重はすべてその値が異なり、外桁の破壊による Fig. 5 の形式 I で生じるか、あるいは中桁の破壊による形式 II で生じるものとする。なお、本研究では主として曲げ破壊に着目し、せん断破壊については考慮しない。

(2) 橋の終局強度

各部材の終局曲げ強度は文献 20) に示される式により、床版の終局強度は降伏線理論²¹⁾により、また、端横桁の終局ねじり強度は文献 22), 23) に示される式により求められる。

各部材の終局強度から、破壊形式 I の場合の橋の終局

強度は、次式で表わされる。

$$P_{UI} = [4 M_B/l + (M_{DN} + M_{DP})/B + (M_{SN} + M_{SP}) \cdot l/B + 4 M_{SL} \cdot B/l + 4 T_D/l - q_B \cdot l/2] / C_{WB} \dots\dots\dots (4)$$

ここに、

M: 曲げ強度

T: ねじり強度

サフィックス B, S, D, P, N, L: それぞれ主桁、床版、横桁、正モーメント、負モーメント、橋軸方向を示す。

B: 主桁間隔

l: 支間

q_B: 死荷重

C_{WB}: 前輪荷重載荷の有無、前後輪荷重の比 (P_{UF}/P_{UR})、およびホイールベースの値 (W_B) により定まる係数で、P_{UF}=0.25 P_{UR} (l ≥ 8 m) の場合、1.25-0.5 W_B/l、P_{UF}=0 (l < 8 m) の場合は 1.0

また、破壊形式 II の場合の終局強度は次式で表わされる。

$$P_{UII} = [4 M_B/l + 2(M_{DN} + M_{DP})/B + 2(M_{SN} + M_{SP})l/B + 8 M_{SL} \cdot B/l + 8 T_D/l - q_B \cdot l/2] / C_{WB} \dots\dots\dots (5)$$

(3) 終局荷重

破壊形式 I および II の場合の橋の強度は、それぞれ P_{UI} および P_{UII} であるが、終局自動車荷重としては P_{UI} および P_{UII} のうち小さいほうから決まる荷重であり、その値は、自動車構造寸法、自動車通過位置、荷重分配の機構などにより異なる。橋の破壊時において、主桁と横桁の連結をヒンジとみなし、輪荷重の位置および主桁間隔を Fig. 6 に示すようにとれば、第 1 桁 (外桁) が形式 I で破壊する場合の自動車荷重 T_{L1} は次式で示される。

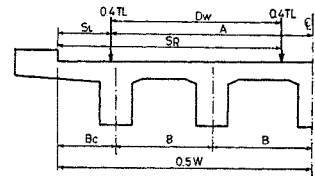


Fig. 6 Position of truck wheels

S_L, S_R ≤ (B_C+B) のとき、

$$T_{L1} = P_{UI} B / (0.8 B_C + 0.8 B - 0.4 W + 0.8 A - 0.4 D_W) \dots\dots\dots (6.1)$$

S_L ≤ (B_C+B), S_R ≥ (B_C+B) のとき、

$$T_{L1} = P_{UI} B / (0.4 B_C + 0.4 B - 0.2 W + 0.4 A) \dots\dots\dots (6.2)$$

S_L, S_R > (B_C+B) のとき、

$$T_{L1} = \infty \dots\dots\dots (6.3)$$

また、第2桁が破壊形式IIによって破壊する場合の自動車荷重 T_{L2} は次式で示される。

$$S_L, S_R \leq B_C \text{ のとき,} \\ T_{L2} = \infty \dots\dots\dots (7.1)$$

$$S_L \leq B_C, B_C < S_R \leq (B_C + B) \text{ のとき,} \\ T_{L2} = P_{U\text{II}} B / (-0.4 B_C + 0.2 W - 0.4 A \\ + 0.4 D_W) \dots\dots\dots (7.2)$$

$$S_L \leq B_C, (B_C + B) < S_R < (B_C + 2B) \text{ のとき,} \\ T_{L2} = P_{U\text{II}} \cdot B / (0.4 B_C + 0.8 B - 0.2 W \\ + 0.4 A - 0.4 D_W) \dots\dots\dots (7.3)$$

$$B_C < (S_L, S_R) \leq (B_C + B) \text{ のとき,} \\ T_{L2} = P_{U\text{II}} \cdot B / (-0.8 B_C + 0.4 W - 0.8 A \\ + 0.4 D_W) \dots\dots\dots (7.4)$$

$B_C < S_L \leq (B_C + B), (B_C + B) < S_R < (B_C + 2B)$ のとき、

$$T_{L2} = P_{U\text{II}} B / (0.8 B - 0.4 D_W) \dots\dots\dots (7.5)$$

$$(B_C + B) < (S_L, S_R) < (B_C + 2B) \text{ のとき,} \\ T_{L2} = P_{U\text{II}} B / (0.8 B_C + 1.6 B - 0.4 W \\ + 0.8 A - 0.4 D_W) \dots\dots\dots (7.6)$$

$$S_L, S_R > (B_C + 2B) \text{ のとき,} \\ T_{L2} = \infty \dots\dots\dots (7.7)$$

また、第3桁の場合は、 $B_C = B_C + B$ として第2桁の場合の式(7)を用いて自動車荷重 T_{L3} が求められる。

5. 許容荷重の決定

(1) 終局荷重のランダムサンプリング

コンクリート強度、鉄筋の降伏点強度、鉄筋の断面損失率および自動車通過位置の確率分布を既知とした場合、終局荷重計算用電算プログラムのフローチャートは、Fig. 7 に示すとおりである。計算手順としては、

① コンクリート強度および鉄筋の降伏点強度のランダム値および鉄筋の断面損失率のランダム値を、それぞれ正規乱数および指数乱数として引き出す。

② 主桁、中間横桁、床版の曲げ強度および端横桁のねじり強度など各部材の終局強度を計算する。

③ 式(4)、(5)を用いて、破壊形式Iに対しては第1桁(外桁)が破壊する場合の橋の強度 $P_{U\text{I}}$ を、また、破壊形式IIに対しては第2桁(中桁)あるいは第3桁で破壊する場合の橋の強度 $P_{U\text{II}}$ を計算する。

④ 左側後輪の道路中心線からの距離のランダム値を正規乱数として引き出す。

⑤ 式(6)、(7)を用いて各主桁が破壊形式IあるいはIIで破壊するまで載荷可能な終局自動車荷重 T_{L1} 、 T_{L2} 、 T_{L3} を求める。

⑥ ⑤で求めた各主桁に対する終局自動車荷重のうち

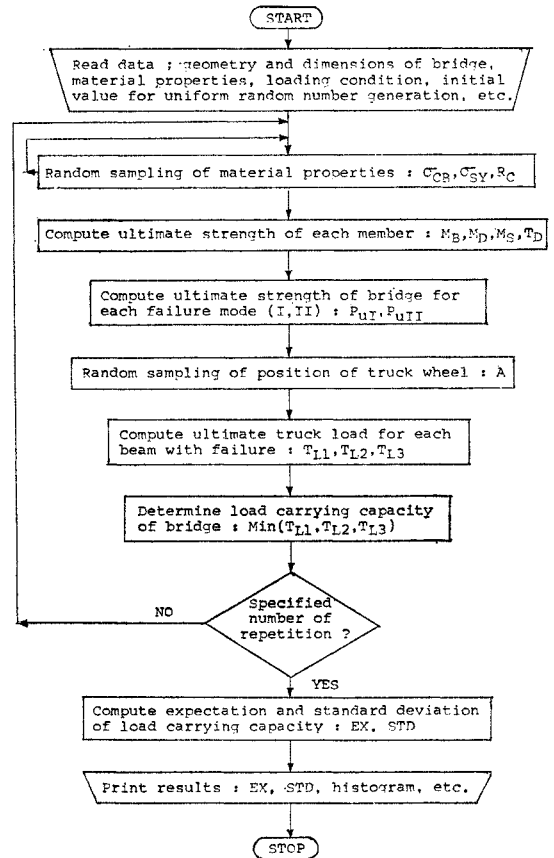


Fig. 7 Flow chart for main program

最小の荷重 $\text{Min.}(T_{L1}, T_{L2}, T_{L3})$ をもって終局荷重 T_{Lj} とする。

⑦ ①から⑥までのステップを必要回数繰返して ($j = 1, \dots, n$) 終局荷重のサンプリングを行う。

なお、一様乱数は Lehmer 法を、正規乱数は Box-Muller 法を、また指数乱数は逆関数法を用いてそれぞれ発生させた。

(2) 安全度の決定方法

終局荷重の確率モデルを決定できれば、所要の安全度に対応する破壊確率を有する許容荷重が古典的理論により計算で求められる²⁴⁾。しかし、今までに設計されたコンクリート構造物の破壊確率は、 $10^{-3} \sim 10^{-5}$ 程度といわれ²⁵⁾、既設鉄筋コンクリート橋にもこれと同程度の安全度を確保するとすれば、終局荷重の分布のこのように小さい破壊確率における分布モデルを決定することは困難である。このいわゆる tail 問題を解決する方法として種々提案²⁴⁾されているが、本文では終局荷重のランダムサンプリングによって得られるその期待値および分散を用い、Cornell の理論¹¹⁾を応用して安全度解析を行い許

容荷重を決定する。

いま、許容荷重および終局荷重の期待値をそれぞれ \bar{L} および \bar{T} とすれば、橋が破壊しない条件は次式で表わされる。

$$\bar{T} \geq F \cdot \bar{L}, F > 1.0 \dots \dots \dots (8)$$

ここに、 F は安全度を示し次式で与えられる。

$$F = (1 + \beta \sqrt{V_T^2 + V_L^2 - \beta^2 V_T^2 V_L^2}) / (1 - \beta^2 V_T^2) \dots \dots \dots (9)$$

ここに、

V_T : 終局荷重の変動係数

V_L : 許容荷重の変動係数

β : 部材の信頼度係数 (3.0~4.5)

終局荷重の期待値および変動係数は、ランダムサンプリングの結果から求まる。ところで、死荷重を無視し終局荷重の変動係数 $V_T=0$ の場合の安全率は、活荷重係数に等しく次式で表わされる。

$$K_L = 1 + \beta \sqrt{V_L^2 + V_E^2} \dots \dots \dots (10)$$

ここに、 V_E : 荷重影響変動係数 (0.1)

活荷重係数を許容荷重に与える安全度の指標と考え、許容荷重の変動係数を次式により求める。

$$V_L = \sqrt{[(K_L - 1) / \beta]^2 - V_E^2} \dots \dots \dots (11)$$

したがって、活荷重係数を与えることにより安全率が計算され、許容荷重は次式で求まる。

$$\bar{L} = \bar{T} / [(1+i) \cdot F] \dots \dots \dots (12)$$

ここに、 i : 衝撃係数

(3) 安全率決定の実用簡便法

Fig. 8 は終局荷重の変動係数、活荷重係数および安全率などの関係を示す。ランダムサンプリングにより終局荷重の変動係数が求まれば、活荷重係数および信頼度係数を決めることにより、Fig. 8 より安全率が求まり式 (12) から許容荷重が決定される。一方、活荷重係数と安全率の関係は、Fig. 9 に示すとおりであり、各国

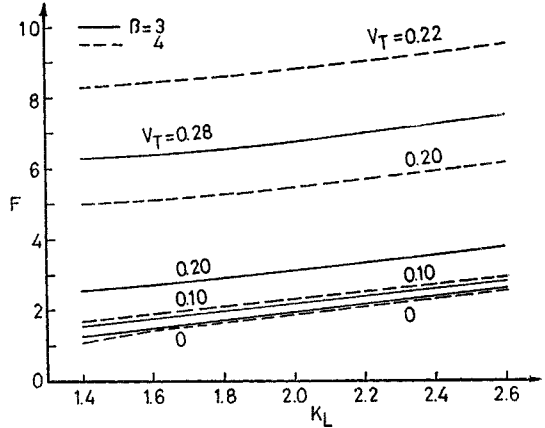


Fig. 9 Effect of load factor variation to safety factor

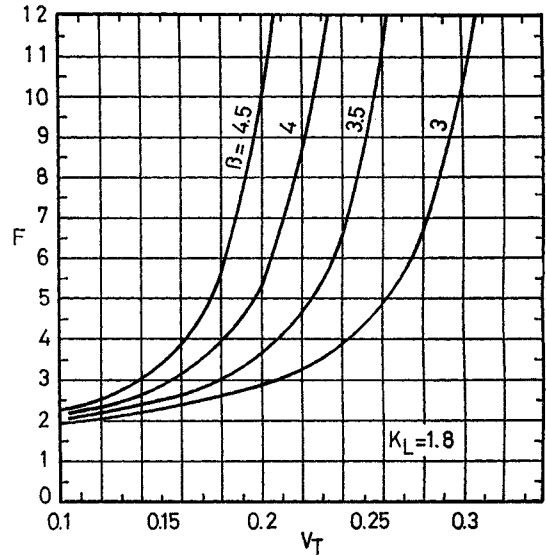


Fig. 10 Coefficient of variation of load carrying capacity vs. safety factor

の示方書に規定する活荷重係数は 1.6~2.5 程度で与えられるが、この範囲での活荷重係数の変化に対する安全率の変化は、それほど鋭敏でない。現行示方書と同程度の安全度を確保するための活荷重係数として 1.8 をとれば、この場合の終局荷重の変動係数と安全率の関係は、Fig. 10 に示すとおりである。Fig. 10 は終局荷重の変動係数が増加すれば、所要の安全度を確保するために必要な安全率が急激に増大することを示しており、また、終局荷重の変動係数の値によっては、所要の安全度

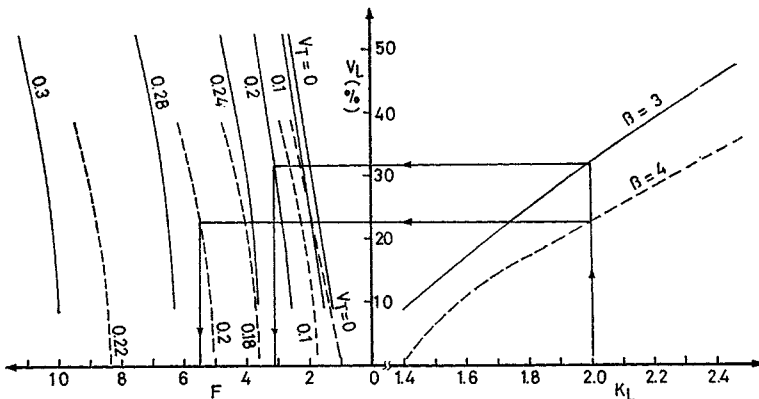


Fig. 8 Relation between live load factor and safety factor

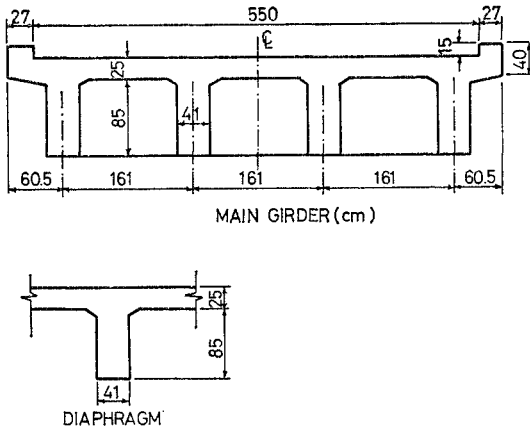


Fig. 11 Cross sectional properties for numerical example

を確保できない場合も生ずる。許容荷重の決定は、橋の重要度から信頼係数 β を、たとえば、重要幹線で4、その他で3と決め、Fig. 10 より安全率を求めるのが簡便と思われる。

6. 数値計算例

例として Fig. 11 に示す支間 11.2 m の摩瀬橋について耐荷力のサンプリングを行う。なお、主桁、横桁、床版(正)、床版(負)の主鉄筋量はそれぞれ $10-\phi 25=49.1 \text{ cm}^2$ 、 $4-\phi 9=2.54 \text{ cm}^2$ 、 $4-\phi 9=2.54 \text{ cm}^2/\text{m}$ および $7-\phi 9=4.45 \text{ cm}^2/\text{m}$ である。橋の調査結果から、コンクリート強度の期待値および標準偏差は、それぞれ 229 kg/cm^2 および 38.9 kg/cm^2 、鉄筋の降伏点強度の期待値および標準偏差は、それぞれ 2920 kg/cm^2 および 371 kg/cm^2 、鉄筋の断面損失率の期待値は 4.52%、道路中心線から左側後車輪中心までの距離の期待値および標準偏差は、それぞれ 189 cm および 23.4 cm である。Fig. 12 は、1000 個のサンプリングを行った場合の耐荷力の分布を示すが、これによれば終局荷重の確率分布は、正規分布に近いと判断される。これは入力としてのランダム値の大部分が正規分布をなしているためと思われる。Table 1 に各部材の協同作用の組合わせと、それに対応する終局荷重の期待値、標準偏差および変動係数を示した。なお、端横桁のねじり強度の効果がないのは、閉合スターラップを有していないためである。また Table 1 には参考までに終局荷重の分布モデルを正規分布と仮定した場合の破壊確率と許容荷重も示した。本例においてすべての部材の協同作用を考慮した場合の終局荷重の期待値 $EX=174 \text{ t}$ に対して、危険率を 5% とした場合の信頼区間は $172 \text{ t} < EX < 176 \text{ t}$ となり、耐荷力の評価が実用上トン単位で十分なこと、および誤差法

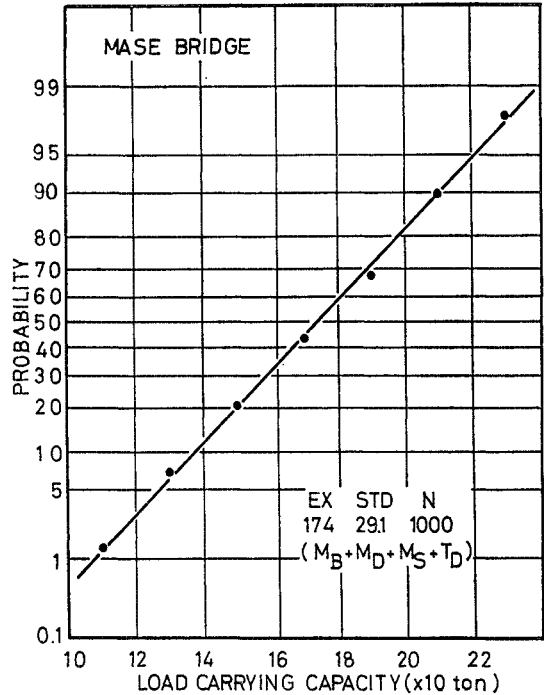


Fig. 12 Distribution of load carrying capacity

則を考慮すれば、終局荷重の変動係数が 20% 程度までに対しては、サンプリング数は 1000 個程度で十分と思われる。

活荷重係数を 1.8 とし衝撃を考慮しない場合、終局荷重のランダムサンプリングのデータを用いて許容荷重を求めた結果を Table 1 に示す。次に鉄筋断面損失率の期待値を 5% と仮定し、他の条件は前述と同一として主桁の曲げ強度のみを考慮し、他部材の協同作用を無視し

Table 1 Sampling results and allowable loads

Combination of strength	EX (ton)	STD (ton)	CV (%)	Allowable Loads (ton)					
				Failure Probability			$K_L=1.8$		
				10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}	$\beta=3$	$\beta=4$	
M_B	70.5	14.6	20.7	36	25	16	8	24	11
M_B+M_D	86.3	15.7	18.2	50	38	28	19	33	22
M_B+M_S	160.	27.8	17.4	95	74	57	42	64	43
$M_B+M_D+M_S$	174.	29.1	16.7	106	84	66	50	73	51
$M_B+M_D+M_S+T_D$	174.	29.1	16.7	106	84	66	50	73	51

Table 2 Comparison between proposed method and others

Items	Computation based on	Ultimate Strength Theory			
		Elastic Theory	Proposed Method ($K_L=1.8$)		
	Method for Steel Bridges	Classical Method Assuming Normal Distribution	$\beta=3$	$\beta=4$	
Failure Probability	—	10^{-3}	10^{-3}	approx 10^{-3}	approx 10^{-3}
Service Load (ton)	11.6	24.4	7.2	22.6	9.9

た場合、ランダムサンプリングの結果、終局荷重の期待値は 70 t, 変動係数は 14.8% となるが、活荷重係数を 1.8 として許容荷重を求め、他の計算法で求めた値と比較した結果を **Table 2** に示す。

6. む す び

本文はコンクリート強度、鉄筋の降伏点強度、鉄筋の断面損失率、自動車通過位置などの値をランダム値とし、主として部材の曲げ強度に着目し、橋の破壊形式に基づいて極限解析を行い、シミュレーションモデルを用いて既設鉄筋コンクリート単純T桁橋の終局荷重のランダムサンプリングを行い、その期待値および変動係数を用いて所要の安全度を有する許容荷重を決定する手法を述べた。本方法を用いることによって、既設鉄筋コンクリート橋が有する耐力を総合的に把握することが可能であり、さらにサンプリングの結果を用いて得られる許容荷重は、所要の安全度を有する実際の供用荷重を決定する際の目安としての基礎資料を与えるものと思われる。しかし、本方法の実用化にあたっては、さらに破壊形式の再検討、せん断強度の考慮、連続桁への拡張およびサンプリングにより得られたデータに基づく合理的な安全度解析法の開発など、今後にも多くの問題を残しているが、本文の手法を発展させて既設鉄筋コンクリート橋のより合理的な供用荷重算定方法を確立できるものと思われる。

参 考 文 献

- 1) 日本道路協会 橋梁委員会 耐力分科会：鋼道路橋供用荷重算定指針(案), 道路, No. 357, pp. 57~63, 1970.
- 2) 日本道路交通情報センター編：特認荷重算定要領(案), 34 pp. 1971.
- 3) ACI Committee 437 : Strength evaluation of existing concrete buildings, Jour. of ACI, Vol. 64, No. 11, pp. 705~710, Nov. 1967.
- 4) Tamberg, K.G. and P. Smith : System for strength evaluation of concrete bridges, Jour. of ACI, Vol. 67, No. 11, pp. 888~893, Nov. 1970.
- 5) Panchaud, F. : Contrôle des ouvrages existants, Introductory Report, 9th Congress IABSE, pp. 243~262, 1972.
- 6) Freudenthal, A.M. : Safety and the probability of structural failure, Transactions, ASCE, Vol. 121, pp. 1337~1397, 1956.
- 7) Freudenthal, A.M., J.M. Garrelts and M. Shinozuka : The analysis of structural safety, Proc. of ASCE, Vol. 92, No. SJ 1, pp. 267~325, Feb. 1966.
- 8) Shah, H.C. : The rational probabilistic code format, Jour. of ACI, Vol. 66, No. 9, pp.690~697, Sept. 1969.
- 9) Sexsmith, R.G. and M.F. Nelson : Limitations in application of probabilistic concepts. Jour. of ACI, Vol. 66, No. 10, pp. 823~828, Oct. 1969.
- 10) Benjamin, J.R. and N.C. Lind : A probabilistic basis for a deterministic code, Jour. of ACI, Vol. 66, No. 11, pp. 857~865, Nov. 1969.
- 11) Cornell, C.A. : A probability-based structural code, Jour. of ACI, Vol. 66, No. 12, pp. 974~985, Dec. 1969.
- 12) Costello, J.F. and K. Chu : Failure probabilities of reinforced concrete beams, Proc. of ASCE, Vol. 95, No. ST 10, pp. 2281~2304, Oct. 1969.
- 13) Allen, D.E. : Probabilistic study of reinforced concrete in bending, Jour. of ACI, Vol. 67, No. 12, pp. 989~993, Dec. 1970.
- 14) 前川静男・藤井 卓・太田利隆：既設鉄筋コンクリート橋の耐力判定方法について, 第10回日本道路会議論文集 pp. 423~424, 1971.
- 15) 建設省土木研究所：既設橋梁の耐力と供用限界に関する研究, 第25回建設省技術研究発表会, 90 pp. 1971年11月
- 16) 前川静男・藤井卓・太田利隆：長年月を経た鉄筋コンクリート橋の調査, セメントコンクリート, No. 290, pp. 15~21, 1971年4月
- 17) 北海道開発局土木試験所：寒冷地におけるコンクリート構造物に関する試験調査報告書(昭和45年度), No. 12, pp. 1~49, 1971.
- 18) Pillai, S.U. and S.D. Lash : Ultimate strength of reinforced concrete grid and slab bridges, First international symposium on concrete bridge design, ACI publication SP-23, pp. 361~384, 1969.
- 19) Nagaraja, R. and S.D. Lash : Ultimate load capacity of reinforced concrete beam-and-slab highway bridges, Jour. of ACI, Vol. 67, No. 12, pp. 1003~1009, Dec. 1970.
- 20) 横道英雄：コンクリート橋, pp. 49~73, 技報堂, 1967.
- 21) Winter, G. et al : Design of concrete structures, Mc Graw-Hill, 1964.
- 22) Hsu, T.T.C. : Torsion of structural concrete-A summary on pure torsion, Torsion of structural concrete, ACI publication, SP-18, pp. 165~178, 1968.
- 23) Building code requirements for reinforced concrete (ACI 318-71), 78 pp. 1971.
- 24) The task committee on structural safety : Structural safety-a literature review, Proc. of ASCE, Vol. 98, No. ST 4, pp. 845~884, Apr. 1972.
- 25) Freudenthal, A.M. : Critical appraisal of safety criteria and their basic concepts, Preliminary publication of 8th Congress IABSE, pp. 13~24, 1968.

(1973.11.22・受付)



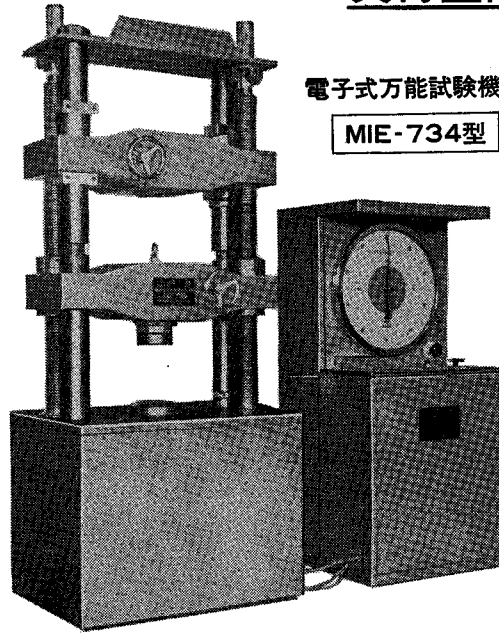
MARUI
創業50年

電気・油圧サーボシステム・自記計測のマルチ

1UP&UP

新しい万能材料試験機

電子式
実荷重計測式



電子式万能試験機

MIE-734型

計測機構と負荷機構の分離

直接計測して、従来の間接的計測の不可抗力的要素を省きました。

- ※負荷荷重の検出は特殊型ロードセル
- ※温度変化除く特殊電気回路
- ※特殊ロードセルは引張強度の1/2以下で使用
- ※荷重負荷は多連式ポンプにて行う
- ※計測指示は自動平衡装置利用

電子式?

特殊ロードセル方式のための
完全な電子式機構

特殊ロードセルは、D・T・Fを利用精度0.1μ指針の動きはタコゼネレーターによる自動平衡方式。このように計測はすべて電子回路を駆使しています。

実荷重計測

多くの利点を
生みだします。

- ① 正確な計測
- ② 故障発生減少
- ③ 操作簡単
- ④ 感度上昇
- ⑤ 再現性いちじるしい
- ⑥ 負荷中レンジ切換えできる
- ⑦ 「0」調容易になった
- ⑧ 応答性早く0.5秒以内
- ⑨ 破断ショック影響受けない
- ⑩ 自記自動化が容易になった

油圧系統は負荷するだけ
計測値は関係ありません。

※詳細ご一報下さい。
すぐ参上します。

—自記自動化のトップをめざす—

株式会社 **圓井製作所**

営業品目

土質試験機	非破壊試験機
アスファルト試験機	温調試験機
コンクリート試験機	水理試験装置
セメント試験機	材料試験機



MARUI

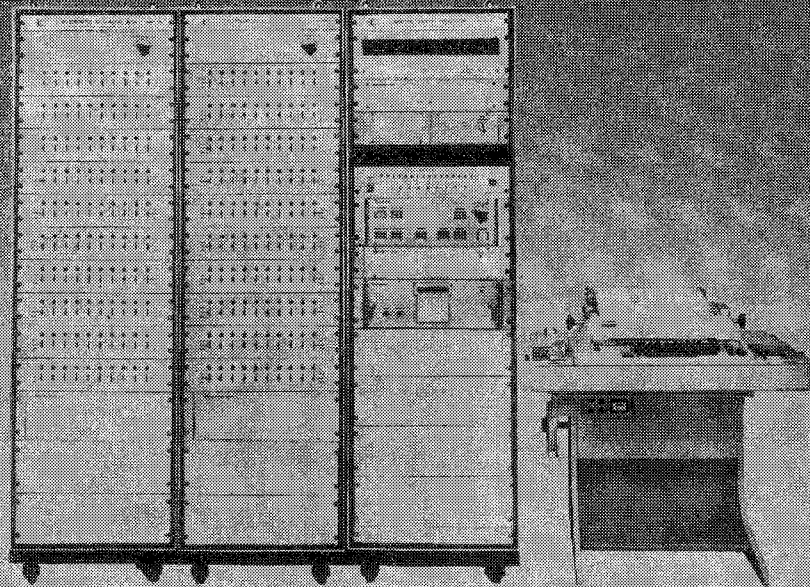
株式会社

マルイ

—信頼を旨とす—

東京営業所 東京都港区芝公園2-9-12
〒105
大阪営業所 大阪市城東区蒲生町4-15
〒536
九州営業所 福岡市博多区比恵町4-17
〒812 日高ビル

TEL 東京 (03) 434-4717(代)
テレックス東京 242-2670
TEL 大阪 (06) 931-3541(代)
テレックス大阪 529-5771
TEL 福岡 (092) 411-0985



ミニコンを 標準装備!

高速デジタルひずみ測定装置 **ON-LINE** SD-1100B ASB-110B

1点0.1秒でデータ処理ができるひずみ、変位、圧力、荷重、温度などをひずみゲージまたはひずみゲージ式変換器で検出し、その出力を自動的に切りかえて増幅し、A-D変換するとともにオンラインでミニコンにインプットして解析処理し、その出力を出入力タイプライタにて印字作表する装置です。

特長

- CPU、入出力タイプライタが故障しても、ひずみ測定には支障がない
- 取扱い操作は簡単
- 周辺機器は豊富なため最適なシステムが選択できる
- 中央の大型コンピュータと連結して、データの集中管理ができる

- フリッシュ回路の切換えの際、熱起電力の影響がない
- 1点あたり0.1秒で測定できる

仕様

測定点数 100点/台、1000点まで可能
 測定範囲 $0 \sim \pm 60,000 \times 10^{-6}$ ひずみ
 適用ゲージ 120Ω、1、2、4枚ゲージ法
 電算機 MELCOM70 HITAC-1011

未来をひらく電子計測器メーカー

共和電業

本社・工場 東京都練馬市練馬5-3-5-1
電話 東京課番0424-87-2111