

繰り返し荷重に対する構造物の 維持・補修とLCCの研究

前田道路（株） ○亀井 博文*

信州大学大学院 林 周平**

信州大学工学部 小山 健***

by Hirohumi Kamei, Shuhei Hayashi, Ken Koyama

我が国が直面している問題には様々なものがあるが、最近よく言われていることの1つに公共事業などのインフラ政策問題が挙げられる。これまでのやり方では多くの矛盾が生じ始めておりこういった事に関する議論があるのは当然のことである。またもう1つのキーワードとして経済性の良いもの、もしくはコスト的に無駄の無いものが求められてきている。しかも、今後さらにこの傾向が強くなっていくであろう事は、誰もが予想できることである。したがってこれから建設される構造物には、いかに安全でしかも経済性に優れているものがより求められるのは当然である。また、我が国の現状を考えると構造物を維持・補修によって出来るだけ長く使用することがインフラの充実という観点から重要である。それにはある程度の予測と検討がたいへん重要になってくる。

本研究では、構造物の維持補修に関する劣化状況をモデル化し、総期待費用最小化原則に基づき最適な初期安全性レベルとその時の構造物のライフサイクルコストを求めようとするものである。その場合の最適なライフサイクルコストの設定に関して構造物が繰り返し荷重を受けるモデルを想定している。

【キーワード】ライフサイクルコスト、維持補修、繰り返し過重

1. はじめに

我が国の公共事業に関しては、これまでも様々な議論がなされてきており^{1) 2)}、今後の公共投資のあり方がこれまで以上に問われてきている。また、最近の諸事情を考えると、これまで以上に経済性の制約があるといえる。しかし、作る必要のあるものはまだ多く、このようなことから効率化を考えたインフラ整備が必要になってくると思われる。

一方高度成長期に比べ新規構造物の整備速度が低くなってきている現状においては維持補修が大変

重要になってくる。その維持・補修政策いかんによって、多くの経済的な無駄が生じることになる。つまり構造物の生涯費用(LCC)³⁾を考慮し、ある程度予測に基づいたうえで建設することが必要となる。

本研究は、構造物の総費用最小化原則に基づいてライフサイクル^{4) 5)}における経済性の評価を試みた。また従来の研究に対して、具体的な劣化パターンを想定し、維持・補修を考慮にいれた構造物のLCCの設定を目指している。

土木構造物をモデル化した維持・補修のみに関する研究は、これまでも数多くなされているが^{6) 12)}ライフサイクルコストと結びつけた、繰り返し荷重をモデルとした初期安全性の設定に関するものではなく、また文献4)にあるように、劣化モデルとLCC概念適用の条件のうち構造物の寿命と初期投資の関

*前田道路（株）

**信州大学大学院・前期

***信州大学工学部 tel.026(269)5281fax.(223)4480

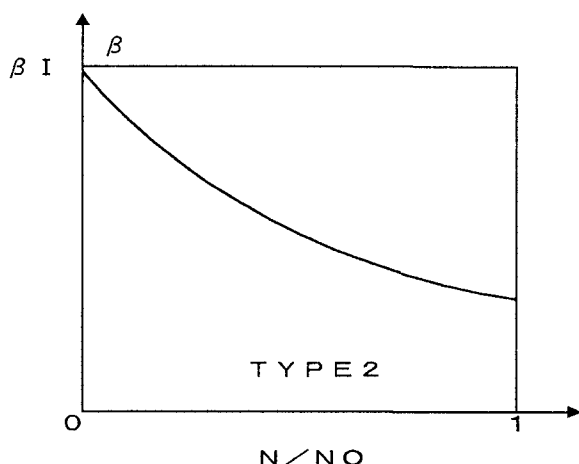
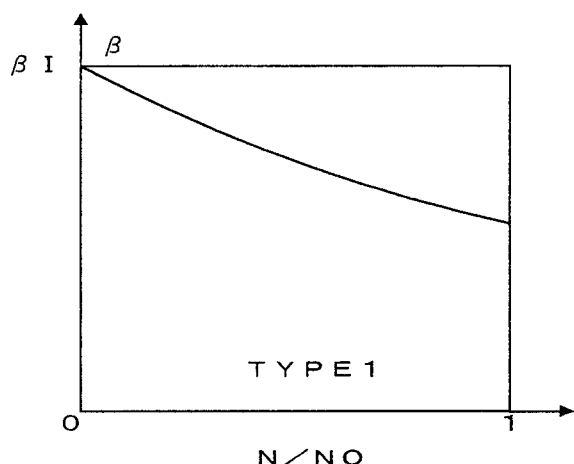


図 1 安全性レベルの劣化状況

係についても言及できる点が本研究の特徴となっている。なお著者らのいままでの研究においては劣化タイプとしてフラクタル理論を援用したものを用いてきたが、本研究ではより現実的なものとして、文献 13) による確率論的に安全性の評価を可能とする安全性指標を用いた劣化関数を採用している。

2. 構造物の耐用年数について

土木構造物の耐用年数は一般に、1) 経済的耐用年数、2) 機能的耐用年数、3) 物理的耐用年数があるが、本研究では3)を対象とする。このような耐用年数の決定に関しては文献 6) を参照されたい。

本研究では、様々な要因を考慮し、耐用年数と 40～80 年程度とした。

3. 構造物の評価法

3. 1 経済性評価モデル

土木構造物の経済性評価法として、本研究ではそれが建設された後、劣化が進み耐用設計年数が来た時点で速やかに取り替えるモデル(取り替えモデル)と補強を行うことによって、設計年数より少しでも長く使用し、その後廃棄するモデル(補強モデル)また、補修を行い設計年数より少しでも長く使用し、その後廃棄する。ただし、補修は劣化を止めるように施工するモデル(補修モデル)の3つのモデルで評価することにした。(これらのモデルの明確な違いについては後述する)この場合の費用の評価とし

て、期待総費用最小化原則を用いた。また数式等の理論的なことは、文献 5) 14) にゆずる。

3. 2 荷重モデルについて

ここでは構造物に作用する荷重のイメージとしてポアソン分布に従う繰り返し荷重を想定した。3.2 における数式などの理論的な部分に関しては文献 14) と同じなので省略する。詳しくは、文献 14) を参照されたい。

3. 3 構造物の劣化予測

構造物は、使用開始以降確実に劣化する。劣化の原因および種類は、構造物の材料にも依存し、様々なものが考えられているが、ここでは安全性レベルに注目した劣化パターンをモデル化した。劣化パターンとその維持・補修政策にもいろいろなものが考えられているが、確定されたモデルはないように思われる^{6~9)}。よってここでは図 1 に示す宮本・森川らの指数関数モデルを劣化パターンとして仮定した。

まず、森川・宮本¹³⁾らは、様々な因子のばらつきが破壊基準関数へ及ぼす影響の非線形性などを考慮し、安全性指標 β を用いた。また一般に材料劣化と安全性指標 β との関係が、非線形性を有する事なども考慮するといくつかの橋梁に対しての実橋試験に基づく安全性評価結果に統計解析を行う事が最も有効であると考えた。その結果以下のような劣化関数を導いている。

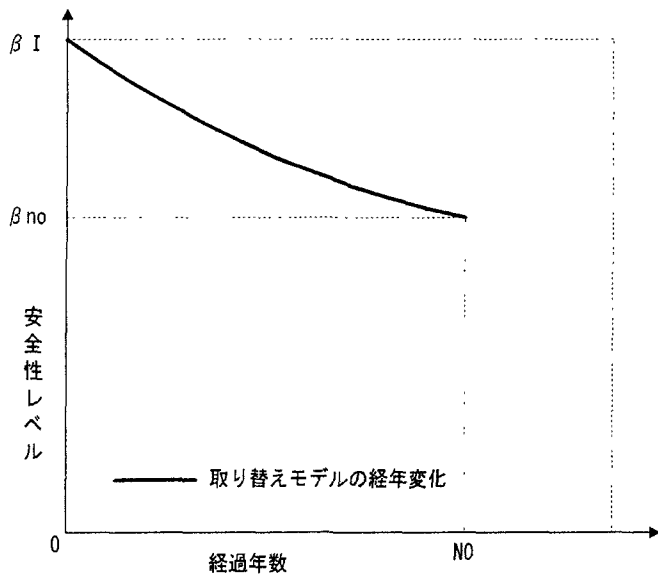


図 2-1 置き換えモデルの劣化パターン

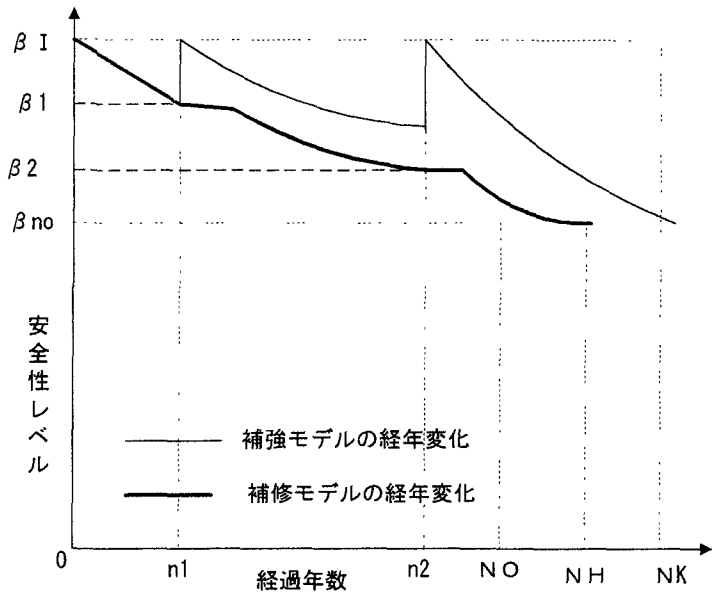


図 2-2 補強・補修モデルの劣化パターン

曲げによる劣化

$$F_1(X) = \beta^2 = 11.88 \cdot \exp(-1.47 \cdot 10^{-2}t) \quad (1)$$

せん断による劣化

$$F_2(X) = \beta^2 = 14.62 \cdot \exp(-1.98 \cdot 10^{-2}t) \quad (2)$$

本研究では、式(1)で表される劣化をType 1とし、式(2)で表される劣化をType 2と定義した。さらに $t = N/NO$ として、無次元化した式を仮定して評価することとした。図-1において横軸のNOは設計耐用年数を、Nは供用開始からの経過年数をそれぞれ表わす。また縦軸の β_1 は供用開始時点での構造物の初期安全性レベルを表すものとする。

3. 4 最適安全性レベル

期待設計耐用年数を通した費用については、初期費用発生時点での現在価値に換算して求め、それに基づいた経済的に見て最適な安全性レベルを求めることが必要となる。したがって補修・補強費用については、補修・補強がなされた時点での費用に現在価値係数をかけることで評価した。なお、ある決められた限界状態が発生するまでの経過年数Nは確率変数であるから特定できないので、社会的損失費用 C_f の評価については、以下のようなN期間中の平均費用 $\overline{C_f}$ と平均安全性レベル $\bar{\beta}$ で考慮した。

$$\bar{\beta} = \frac{1}{N} \int_0^N \beta_1 \cdot F\left(\frac{t}{NO}\right) dt \quad (3)$$

$$\overline{C_f} = C_f (\xi^N - 1) / (N (\xi - 1)) \quad (4)$$

ここで、 $\xi = 1 + i$ で i は年平均金利である。また $P_f = \Phi(-\bar{\beta})$ である。

ここで、 P_f は構造物が安全性レベル $\bar{\beta}$ になる確率で、 $\Phi(\cdot)$ は標準正規分布である。

いま経済性を評価する式を以下のように表す。この式の詳細は文献(14)を参照されたい。

$$E(C_T) = a(1 + b\theta) + (1 - \exp(-ht \cdot P_f)) \cdot \overline{C_f} + \sum F \cdot \text{pwf} \quad (5)$$

ここで、 pwf は現在価値係数である。

したがって、最適な初期安全性レベル β_1^{opt} は原理的に以下の式を満足する β を求めることで得られる。

$$\frac{\partial E(C_t)}{\partial \beta} = 0 \quad (6)$$

3. 5 シミュレーションモデルについて

いま LCC として期待総費用の評価について以下のような3つのモデルを考慮することにする。

(i) 置き換えモデル

このモデルは、構造物が決められた供用期間が過ぎ所定の安全性レベルである β_{no} まで劣化した場合に、速やかに別な構造物と取り替えるモデルである。補修等々を行わないので式(5)で $\sum F = 0$ で

パラメタ	取り替えモデル	補強モデル	補修モデル
荷重平均生起回数 (h t)	0. 1, 0. 4 0. 7	0. 1, 0. 4 0. 7	0. 1, 0. 4 0. 7
利率 (i)	0. 0 5	0. 0 5	0. 0 5
耐用年数 (N O)	4 0, 6 0, 8 0	4 0, 6 0, 8 0	4 0, 6 0, 8 0
荷重の変動係数 (V S)	0. 1, 0. 3	0. 1, 0. 3	0. 1, 0. 3
強度の変動係数 (V R)	0. 1	0. 1	0. 1
補強・補修費用係数 (ε_1)	×	1. 0	1. 0
平均補修発生回数 (A V K)	×	1 0	1 0

表 3 シミュレーション数値表

ある。

(ii) 補強モデル

このモデルは、建設後劣化に応じて n_i 年後に費用 F_i を掛けて補強作業を行い土木構造物の安全性レベル β_{n_i} を、回復率 R ($0 < R \leq 1$) まで向上させる。¹⁴⁾ この作業を何回か行い目標とする設計耐用年数 N_0 年を越えるときそこで補修作業をやめ、橋梁の安全性レベルが β_{n_0} になったとき、すなわち N_0 より延命した NK 年後に構造物を廃棄し別な物と取り替えるモデルである。

(iii) 補修モデル

このモデルでは、補修時に機能水準の向上を図ることはなく、劣化のいちじるしい進行は止めるようなメンテナンスを行い N_0 年より何年かでも長く維持させようとするモデルである。つまり n_i 年に費用 F_i を掛けて補修作業を行い、土木構造物の安全性レベル β_i のまま止めるように作業を何回か行い、耐用年数 N_0 年を越えるときそこで補修作業をやめ、橋梁の安全性レベルが β_{n_0} になったとき、すなわち NH 年後に構造物を廃棄し別な物と取り替えるモデルである。

ただし、ii) と iii) については、設計耐用年数が過ぎてから、安全性レベルがどの程度劣化したら廃棄するかについての、つまり β_{n_0} の設定のための理論的根拠はない。

これらのモデルについての劣化状況を劣化 T_y

pe 1 を例として図－2. 1, 図－2. 2 にのせた。

3. 6 補修・補強費用と安全性レベルの回復率

補修・補強費用の経年変化は、一般に構造物の劣化状況に依存すると考えられる。劣化の進んでない時期における補修・補強費の総額は、劣化の進んだ時期のものと比較すれば、相対的に見て少なくなることが予想される。

ここでは、ある状態の安全性レベルの回復率 R を補強モデルでは、便宜的に図－2 のように 100% つまり初期安全性レベル β_1 まで回復するものと仮定し、また、補修モデルにおいては先ほど述べたように劣化を止めるようなモデルであるから、回復率は 0% とするものと仮定した。

いま、補強・補修を実行する建設時よりの経過年数 N における劣化状況に比例した補強・補修費がかかると仮定して、この時の補強費用 F_K を以下のように劣化パターン関数として表わした。

$$F_K = \varepsilon_1 \cdot \beta_1 (1 - F(N/N_0)) \quad (7)$$

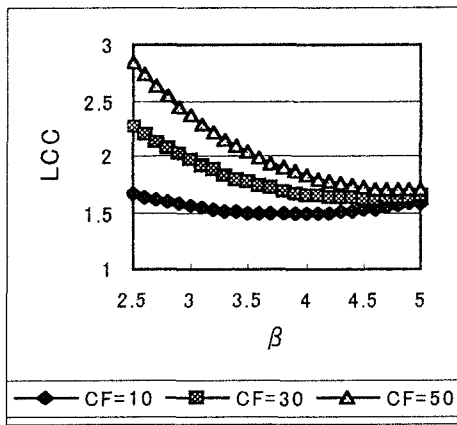
また、同様にして補修費 F_H を以下のように仮定した。

$$F_H = \varepsilon_2 \cdot \beta_1 (1 - F(N/N_0)) \quad (8)$$

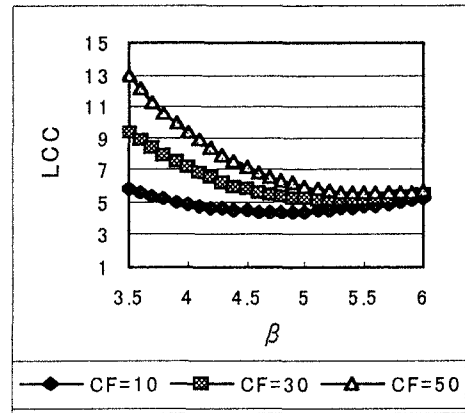
ここで、 ε_1 , ε_2 は定数である。

3. 7 補強・補修期間の発生

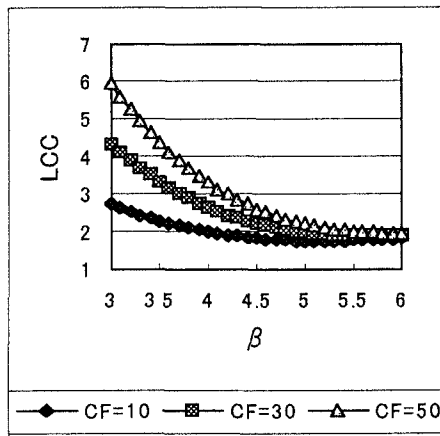
補強・補修が必要となる経過年数の設定は既往の論文と同じであるので、ここでも省略する。補強・補修期間の発生に関する数式などの詳しいことは文献 14) にゆずる。



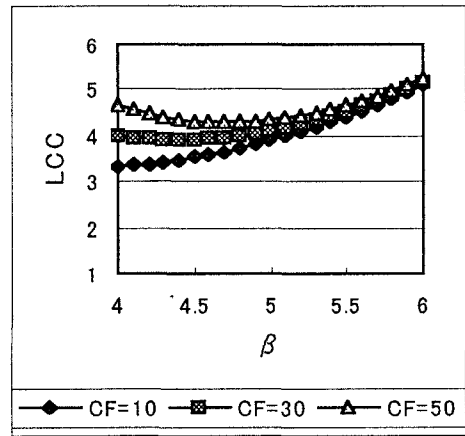
$h t = 0.1$



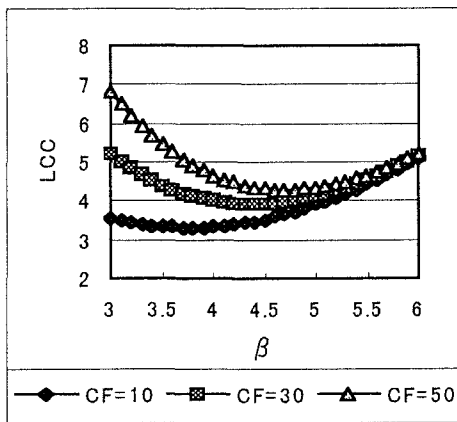
$NO=60, VS=0.1, h t = 0.4$



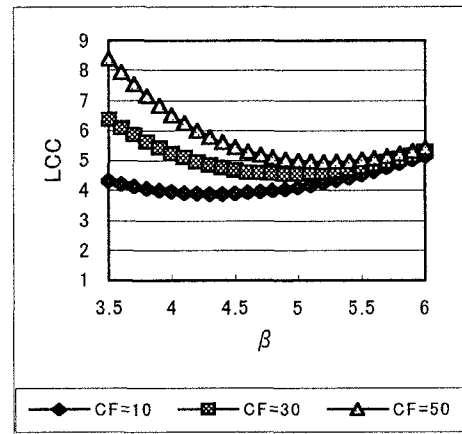
$h t = 0.4$



$NO=80, VS=0.3, h t = 0.1$



$h t = 0.7$



$NO=60, VS=0.1, h t = 0.7$

図 3-1 取り替えタイプ 1 による
安全性レベルと LCC
($NO=40, VS=VR=0.1$)

図 3-2 取り替えタイプ 1 による
安全性レベルと LCC

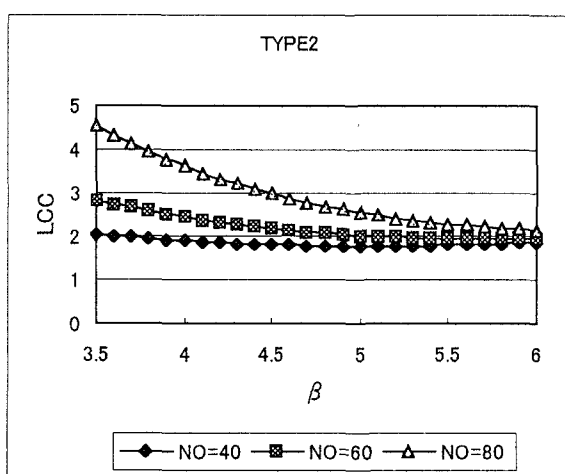
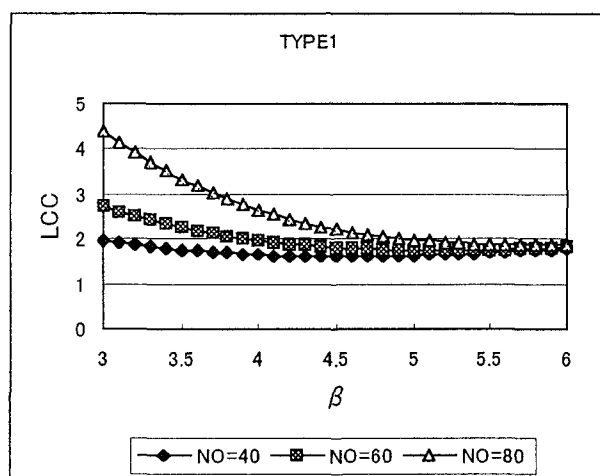
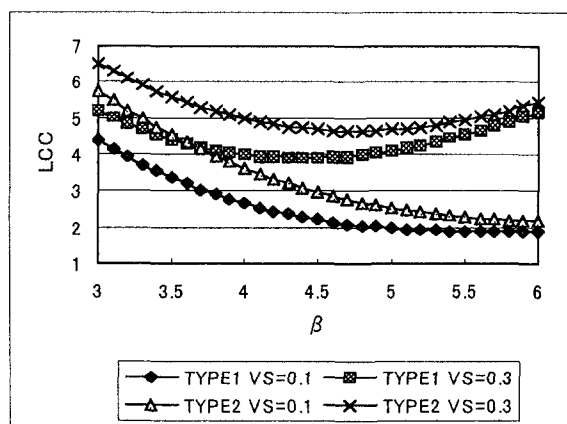
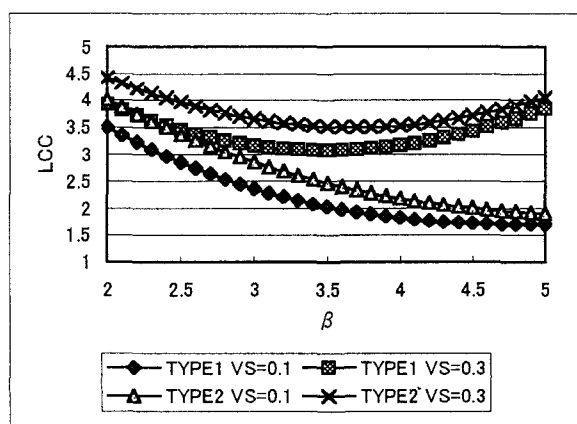


図 4-1 劣化タイプと耐用年数による比較 ($h t = 0.1$, $VS = 0.1$)



$NO = 80$, $h t = 0.1$

$NO = 40$, $h t = 0.1$

図 4-2 取替えモデルにおける荷重の変動係数による比較

4. 計算例および考察

各モデルについてシミュレーションを実行するに際して、パラメタの組み合わせは非常に多くなるため、ここでは表 3 にのせた代表的な組み合わせについて考察を加えることにした。

1) 取り替えモデルについて

取り替えモデルの劣化パターン 1 と 2 についての安全性レベルに対する費用の関係を図-3 および図-4 にのせた。図の費用については、荷重の再現性を考慮しない場合、つまり $h t = 0$, $NO = 40$, $CF = 10$, $VR = VS = 0.1$ の費用を用いて基準化することにした。

図 3-1 より、取り替えモデル劣化パターン 1 のとき時間間隔における荷重発生数の平均回数 $h t$ が大きくなると、LCC・最適安全性レベルはともに大きくなる。よって時間

間隔における荷重発生数の平均回数の多いほうが安全性を高めておくことが LCC は有利になる。このことは、取り替えモデルだけではなく、他のモデルについてもいえる。

しかし、 $h t = 0.7$ の時は、0.4 の時に比べて LCC は大きくなっているが、最適安全性指標は逆に低くなっている。これは、 $h t$ がある程度以上大きくなると、破壊確率が大きくなり初期安全性レベルを大きくとることは、逆に LCC にとって不利であることがいえる。

図 3-2 には、劣化パターン 1 におけるこの他の代表的な計算例をのせた。やはり構造物の設計耐用年数 (NO)、が大きくなればなるほど短いものに比べて相対的に初期安全性を高めておくことが LCC からみて有利である。また、時間間隔における荷重の平均発生回数 ($h t$)、社会的損失費用 (C_f)、などのパラメタが大きくなっても LCC が増大し、最適安全性レベルも大きくなる。

図 4-1 には、劣化パターンの違いと耐用年数による比較

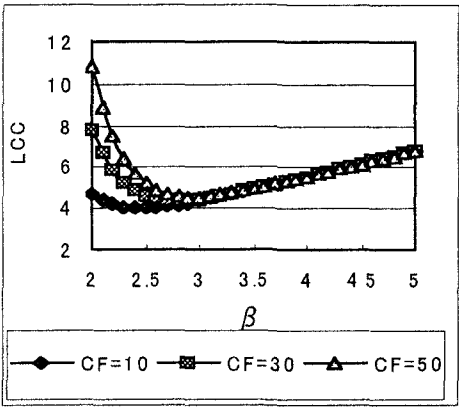
をのせた。両図ともに NO が 40 年, $VS=VR=0.1$ の時のものである。この図から劣化パターンの違いによって, LCC・最適安全性指標に及ぼす影響が分かる。劣化パターン 1 に比べて 2 のほうが相対的に LCC・最適安全性指標を上げておいたほうが LCC からみると有利である。また, 設計耐用年数による差は, 40 年と 80 年を比べても 1.1～1.2 倍程度なので最適安全性指標付近ではほとんど無いと言える。劣化パターン 2 の LCC は, 劣化パターン 1 の LCC に比べて 1.2～1.6 倍程度である。このような傾向についても, 取り替えモデルだけではなく, 各モデルについてもいえる。

図 4・2 には, 期待再現荷重の変動係数 VS の大きいときの LCC と初期安全性レベルの関係をのせた。右の図は, 設計耐用年数 (NO) が 40 年, 時間間隔における荷重の平均発生回数 h_t が 0.1 の時の, 劣化タイプ 1 と 2 についてのせてある。 VS が大きくなると, LCC がかなりの増加が見込まれる。ただし, 安全性レベルは相対的に低く抑えるほうが経済的に見て有利となる。これは, 不確実性の大きな荷重に対して, 不確実性の少ない荷重に対するものと同等の安全性レベルを要求すれば, 当然費用がかさむことになるので, 費用の最適化という観点から見ると, 安全性レベルをある程度下げざるをえないと考えられる。また, VS が LCC に及ぼす影響はばらつきの大きな時は小さい時のおよそ 2 倍の費用がかかるといえる。

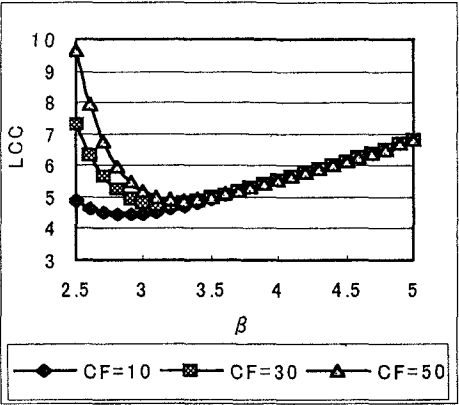
このモデルにおける従来の研究との違いは, 社会的損失費用 C_f の大小によって LCC が大きく変わるところにある。LCC 自体も大きくなっていく。また, 最適安全性指標付近で建設しないとかかなり費用の無駄が発生する。つまり, 構造物のおかれている状況によって LCC が大きく変わることがわかる。

2) 補強モデルについて

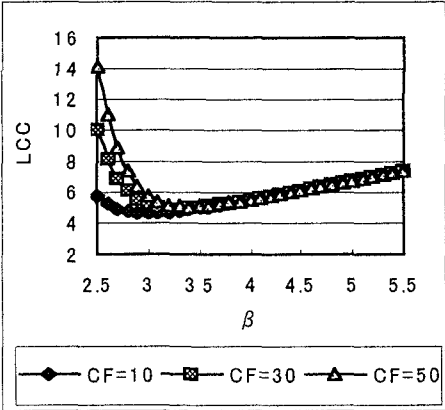
補強・補修モデルについては, 補強・補修する時期がいつか特定できないので, 故障期間の期待値 $1/v$ をここでは 10 年としてあるが, 40 年の間に平均 4 回の補強・補修が必要となるということだけであり, 乱数の発生状況によっては, 2 回ときもありえる。そこで, 乱数の発生回数を 100 回についての平均値を取ることで, あるパラメタの組み合わせの場合の最適安全性レベルと LCC とした。また, このモデルについては図 2-1・2 に示す通り補強によって構造物の寿命が延び $NO=40, 60, 80$ に対して平均的に 70, 110, 140 となった。またこのモデルについ



$h_t=0.1$

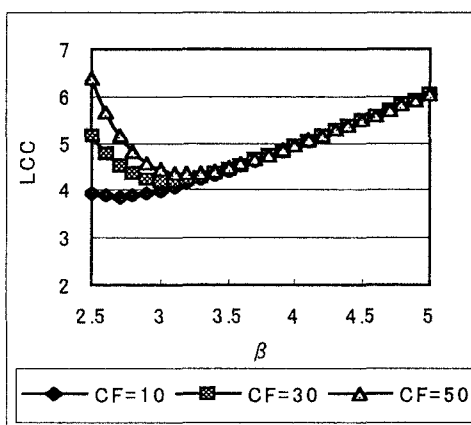


$h_t=0.4$

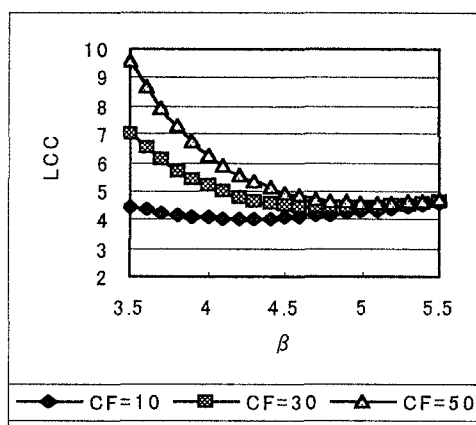


$h_t=0.7$

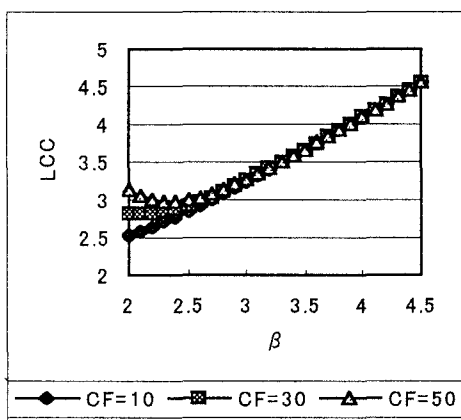
図 5-1 補強モデルタイプ 1 による
安全性レベルと LCC
($NO=80, VS=VR=0.1$)



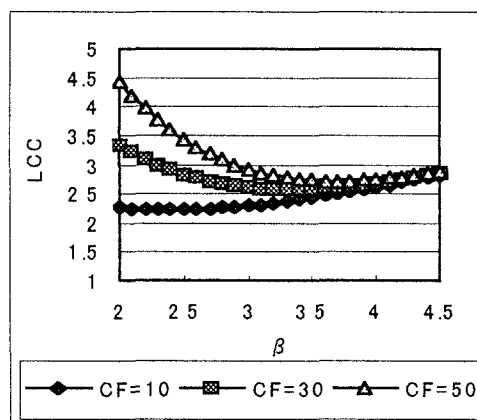
NO=60, VS=0.1, h t=0.4



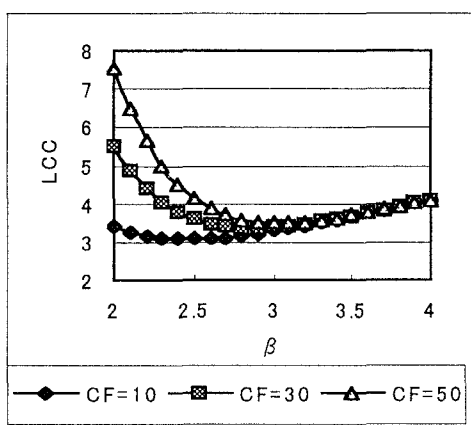
NO=60, VS=0.1, h t=0.4



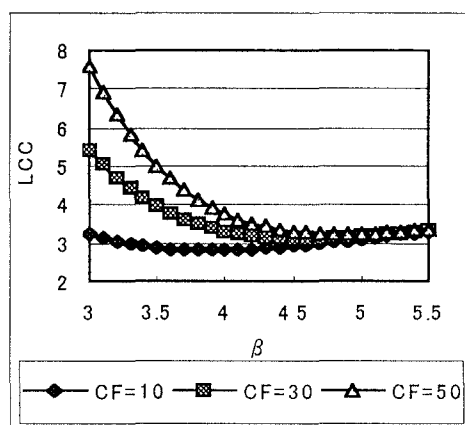
NO=40, VS=0.1, h t=0.1



NO=40, VS=0.1, h t=0.1



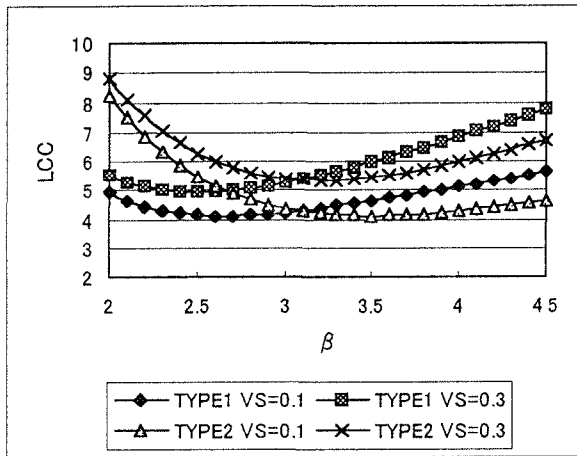
NO=40, VS=0.1, h t=0.7



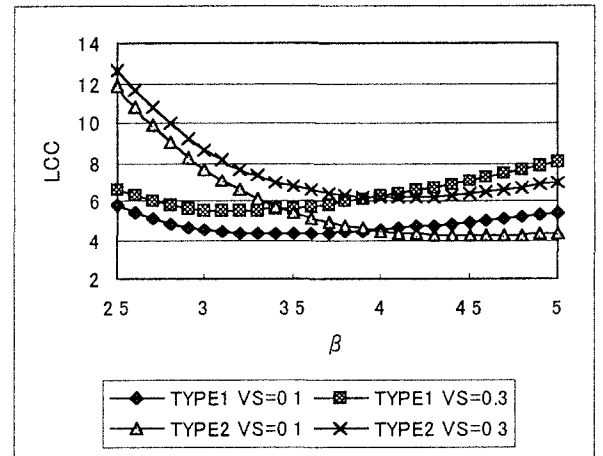
NO=40, VS=0.1, h t=0.7

図 5-2 補強モデル劣化タイプ 1
による安全性レベルと
LCC

図 5-3 補強タイプ 2 による安全
性レベルと LCC



NO=60, $h_t=0.7$



NO=80, $h_t=0.1$

図6 補強モデルにおける荷重の変動係数による比較

でも、先ほどの取り替えモデル $h_t=0$, $NO=40$, $CF=10$, $VR=VS=0.1$ の費用を用いて基準化することで、LCCによって各モデルを比較できると考えた。

図5-1, 図5-2から、補強モデル劣化パターン1のとき時間間隔における荷重発生平均回数 h_t が大きくなると、LCC・最適安全性レベルはともに大きくなる。また取り替えモデルに比べて、最適安全性指標は小さくなる。

また同条件の取り替えモデルと補強モデルを比べたとき、設計耐用年数が小さいとき ($NO=40$) は、補強によって構造物が余分に持つことを考慮しても、取り替えモデルの方が有利になる。しかし、設計耐用年数が大きいとき ($NO=80$) は逆に補強モデルの方が、経済的に有利となる。また、社会的損失費用 (C_f) が小さいときは、耐用年数が長くて、取り替えモデルが有利であり、 C_f が大きいときは補強モデルの方が有利となる。つまり、対象となる構造物のおかれている環境が、厳しくなればなるほど補強モデルが経済的にみて有利であることがわかる。

図5-3には、図5-2と同条件の劣化タイプ2における安全性レベルとLCCの関係を示した。この関係については、取り替えモデルと同様のことが言える。しかし、劣化タイプの違いがLCCに与える影響がほとんどないこともある。 ($h_t=0.7$)

図6には、期待再現荷重の変動係数 VS の大きいときのLCCと初期安全性レベルの関係を示した。右の図は、設計耐用年数 (NO) が80年、時間間隔における荷重の平均発生回数 h_t が0.1の時、左の図は、 NO が60年、 h_t が0.7のときの劣化タイプ1と2についてである。この関係についても取り替えモデルと同じことがいえる。

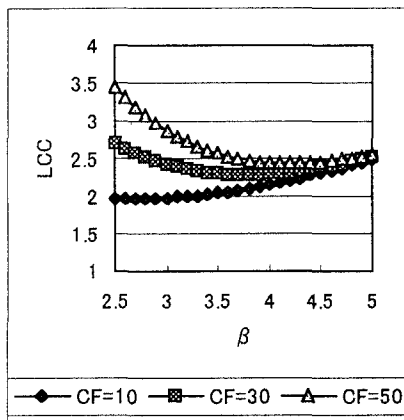
このモデルにおける従来の研究との違いは、取り替えモデルとの差がより明確になった点である。

3) 補修モデルについて

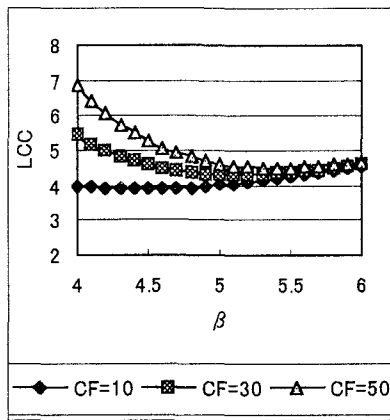
補修によって構造物の寿命が延び $NO=40$, 60 , 80 が平均的に 55 , 80 , 110 となった。またこのモデルについても、取り替えモデルの費用を用いて基準化した。

図7-1から、補修モデル劣化パターン1のとき時間間隔における荷重発生平均回数 h_t が大きくなると、取り替えモデルと同様にLCC・最適安全性レベルはともに大きくなる。また、最適安全性指標は取り替えモデルに比べて小さくなり、補強モデルに比べて大きくなる。しかしLCCに関しては、そのようなことは言えず、設計耐用年数・社会的損失費用が小さく時は、取り替えモデルよりLCCが大きくなるが、設計耐用年数・社会的損失費用が大きいときは、取り替えモデルより小さく補強モデルが大きくなる。また、耐用年数が60年のときは他のどのモデルよりも、LCCが小さくなる。つまり、構造物のおかれている環境が、さほど厳しくないときは、補修モデルが一番経済的に有利となる。

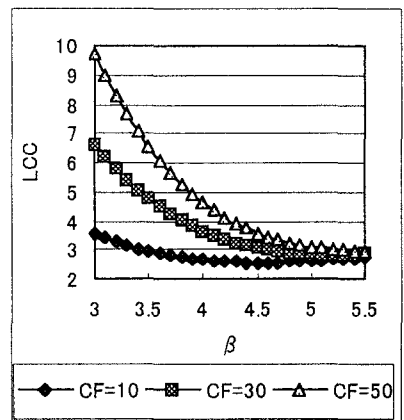
図7-2に、劣化タイプ2による安全性レベルとLCCの関係を示した。取り替えモデル・補強モデルと同様に劣化パターン1に比べて2のほうが相対的に初期安全性指標を上げておいたほうがLCCからみると有利なこともあるが、耐用年数が大きいときは、初期安全性指標を下げた方がいいこともある。しかし、ほとんどの場合において劣化タイプの違いがLCCに与える影響がほとんどないといえる。図8には期待再現荷重の変動係数 VS の大き



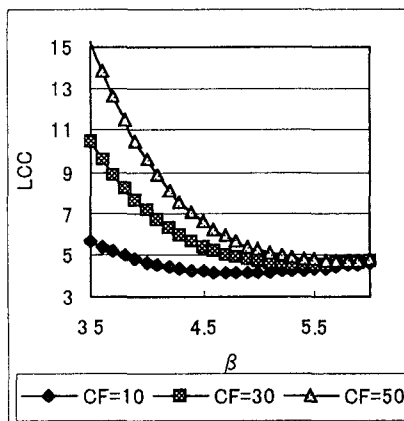
NO=40、VS=0.1、h t=0.1



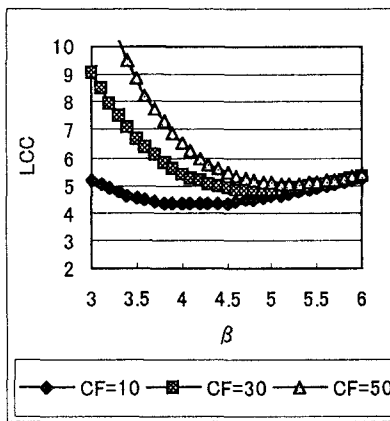
NO=40、VS=0.1、h t=0.7



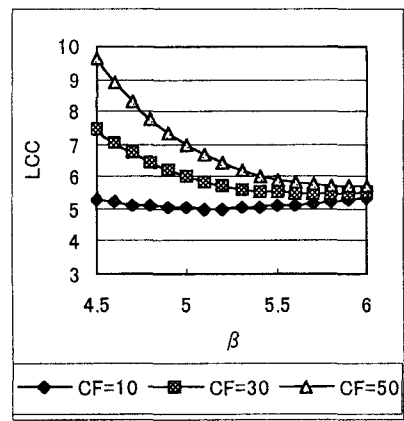
NO=60、VS=0.1、h t=0.4



NO=60、VS=0.1、h t=0.7

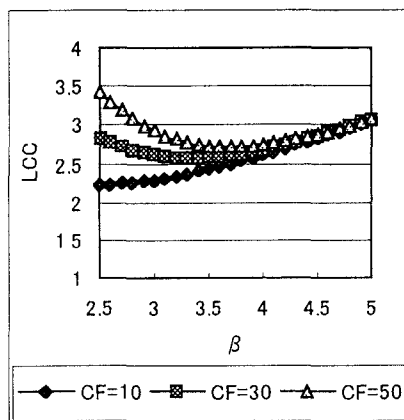


NO=80、VS=0.1、h t=0.1

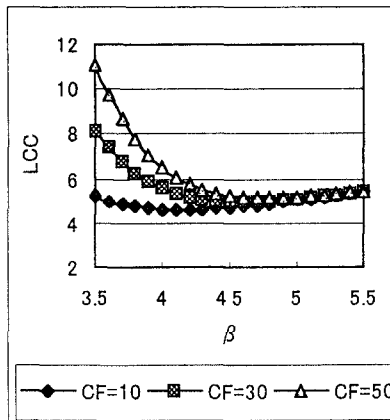


NO=80、VS=0.1、h t=0.7

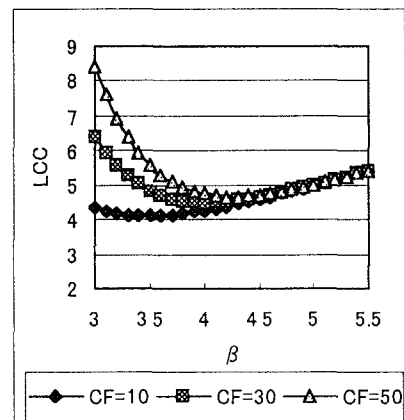
図 7-1 補修モデル劣化タイプ 1 による安全性レベルと LCC



NO=40、VS=0.1、h t=0.1

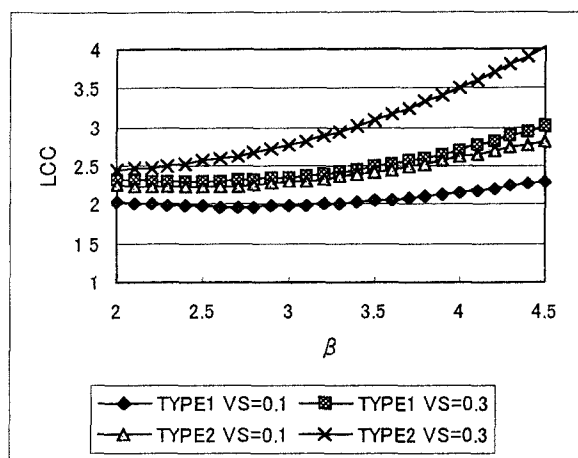


NO=60、VS=0.1、h t=0.4

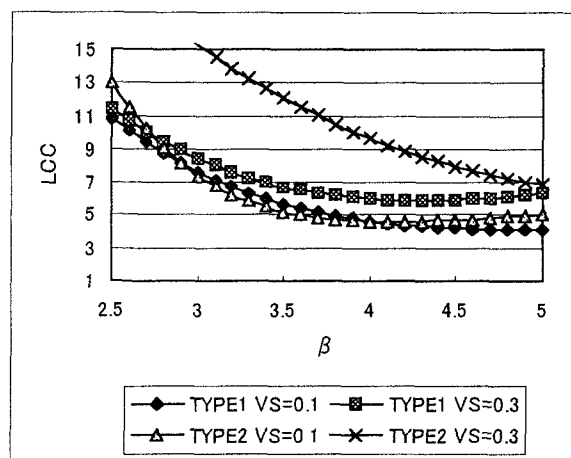


NO=80、VS=0.1、h t=0.1

図 7-2 補修モデル劣化タイプ 2 による安全性レベルと LCC



NO=40, $h t=0.1$



NO=60, $h t=0.7$

図8 補修モデルにおける荷重の変動係数による比較

いときのLCCと初期安全性レベルの関係をのせた。右の図は、設計耐用年数(NO)が60年、時間間隔における荷重の平均発生回数 $h t$ が0.7の時、左の図は、NOが40年、 $h t$ が0.1のときの劣化タイプ1と2についてである。この図からわかることは、先ほどの2つのモデルとは違いVSがLCCに及ぼす影響は、2つのモデルに比べてさほど大きくないといえる。また、最適安全性指標については相対的に見て低く抑えるほうが、LCCとしては有利である。

また補修モデルだけにいえる特徴として、環境を十分に考慮しない場合、他のモデルに比べて無駄な費用が多く発生してしまう。よって補修モデルで建設するときは、適している環境にあるかどうかの検討を必要とする。

5. まとめ

本研究では、今後建設される構造物に関して、主に繰り返し荷重に対する安全性レベルとLCCに関して、取り替え・補強・補修の各モデルについて数値シミュレーションを行い定性的な傾向を調べた。

従来の研究から比較すると、同条件の3つのモデルを比較した場合、耐用年数が小さいときは、取り替え、補修、補強の順でLCCが小さくなるが、変動係数や荷重発生確率が大きくなってくると、耐用年数が小さくても取り替えモデルのLCCが一番大きくなる事もある。また、耐用年数が大きいときは、補強、補修、取り替えの順にLCCが小さくなった。しかし、対象となる構造物の条件が変わってくれば、この順番は当然変わってくる。つまり、適したモデ

ルを適した環境で建設することで費用の削減ができ、費用の最適化につながる事がわかった。また、建設モデルの違いがLCCに及ぼす影響がかなり明確になり、特徴をつかむことができた。

最適安全性指標については、 β を大きくとることが必ずしも安全につながるとは言えず、ある程度にしておくことにより費用を効率化できる。また、指標の幅については、取り替え・補修モデルについてはある程度の幅があるが、補強モデルについては他の2つのモデルに比べて幅が小さい。補強モデルで建設するときは、最適安全性指標付近で建設しないと、何倍もの無駄が多く発生することになる。

全体の結論として、対象となる構造物固有のデータを採取し、それを比較・検討しどのモデルで建設していくのか、またはいかに維持管理していくのかを決めることがたいへん重要である。本研究はその予測・評価の一手段を示していると思われる。

参考文献

- 1) 阿部賢一：公共事業の削減について、建設マネジメント研究論文集, Vol. 5, pp49-58, 1997. 12.
- 2) 平島寛, 山本一敏：公共事業の合意形成における情報公開の役割, 建設マネジメント研究論文集, Vol. 5, pp83-92, 1997. 12.
- 3) 大野博久：社会資本におけるライフサイクルコストの縮減と建設コンサルタント, 土木学会誌, pp142-144, 1998. 1.

- 4) 西川和宏:道路橋の寿命と維持管理, 土木学会論文集, NO. 501/I-29, pp35-37, 1998. 2.
- 5) 高沢和典, 小山健:ライフサイクルコストを考慮した構造物の経済的側面, 土木学会建設マネジメント論文集 Vol. 4, pp91-98, 1996.
- 6) 菅原操:メンテナンスー今後への展望, 土木学会誌, pp57-62, 1983, 10.
- 7) 金子雄一, 宮本文穂, 福手勤, 古屋時春, 関博:コンクリート構造物の維持管理における評価・判定の考え方, 土木学会第48回年次学術講演会, V, pp.214-215, 1993, 9
- 8) 関博:維持管理に関する研究展望, 土木学会論文集, NO. 557/V-34, 1-14, 1997. 2.
- 9) コンクリート構造物の寿命予測と耐久性設計に関するシンポジウム論文集:コンクリート構造物の寿命予測と耐久性設計に関する技術の現状, 日本コンクリート工学協会, pp79-132, 1988. 4
- 10) 西川和廣:社会資本の維持管理ー道路橋からみた社会資本の維持管理の現状と課題, 土木学会誌, Vol. 83, pp35-37, 1998. 2.
- 11) 岩松幸雄, 早川裕史, 原田隆朗:道路構造物の維持管理システムに関する研究, 土木学会論文集, No. 444/VI-16, pp69-76, 1992. 3.
- 12) 土木学会:コンクリート構造物の維持管理指針(案), コンクリートライブラリー, No. 81, pp137, 1995. 10.
- 13) 森川英典, 宮本文穂, 竹内和美:統計解析に基づく既存コンクリート橋の安全性および寿命予測, 土木学会論文集 NO502/v-25, pp53-62, 1994. 11.
- 14) 高沢和典, 松田賢, 小山健:繰り返し荷重に対する構造物の初期安全性レベルとLCC, 土木学会建設マネジメント論文集 vol 6, pp289-298, 1998.

On the Maintenance and Repair of Structures and It's Life Cycle Costing for Repeated Loads

by Hirohumi Kamei, Shuhei Hayashi, Ken Koyama

Structures are going to deteriorate from the beginning of its usage. The deteriorate function is modeled by two types in this paper and applied to the maintenance and repair management. The life cycle cost(LCC) of structures including maintenance and repair cost is minimized based on principle of minimum total cost theory. The spending cost in the life of structures has worth at each time. It is transferred to present worth to estimate the LCC. LCC is related to the safety level of structures. The optimum initial safety levels of structures that minimize the LCC are estimated in this paper. The structures are modeled to be subject to repeated loads.

keywords : life cycle cost, maintenance and repair management, safety level