

鋼橋の要求性能決定過程への住民参加に関する研究

Methodology for performance-based design of steel bridges, taking into account infants

古田 均*, 片岡宏文**, 田淵仁子***, 小山和裕****, 堂垣正博*****

Hitoshi FURUTA, Hirofumi KATAOKA, Hiroko TABUCHI, Kazuhiro KOYAMA, and Masahiro DOGAKI

- * 工博 関西大学教授 総合情報学部 (〒569-1095 高槻市霊仙寺町 2-1-1)
- ** 修士(工学) ㈱日本技術開発 大阪支社
元関西大学大学院工学研究科土木工学専攻博士課程前期課程学生
- *** 学士(工学) 元関西大学工学部土木工学科学生
- **** 修士(情報学) 元関西大学大学院総合情報学研究科総合情報学専攻博士課程前期課程学生
- ***** 工博 関西大学教授 工学部都市環境工学科 (〒564-8680 吹田市山手町 3-3-25)

In the performance examination-by-reference type design of the structure which attracts attention in recent years, the design which clarified the demand performance to a structure is called for. Moreover, in maintenance of social capital, it is supposed that citizens' participation in municipal affairs is indispensable. In order to result in election of the design proposal to which all participants are convinced in the determination of the demand performance by citizens' participation in municipal affairs, many time and labors are required. Here, for a single pillar type steel bridge pier, the opinion for every residents, entrepreneur, and engineer is taken in, and it proposes about the support method of the agreement formation which evaluates and elects a design proposal.

Key Words: Agreement formation support, Performance design, Earthquake risk

キーワード: 合意形成支援, 性能設計, 地震リスク, 耐震性能

1. まえがき

近年、景気の悪化による公共投資の減少とともに、インフラ整備に対する住民の不信感が増えつつある。社会の成熟化とともに、社会資本整備事業への関心が高まり、住民の意見を聞かなければならない機会が増えてきた。これには、環境問題に代表される成長や進歩の限界に対する認識、過度の進歩や発展の追求で生じた社会のひずみ、ものの豊かさが達成されたことへの意識や価値観の多様化、ものへの関心から心の豊かさを志向するライフスタイル、より高度な安心・安全で快適な生活への要求などが考えられる¹⁾。

わが国も採用してきた仕様設計では、構造物の性能は陽な形で直接明示されてこなかった。設計者は構造物の保有性能を十分に意識してきたが、管理者・利用者・住民は構造物がどのような性能をどの程度保有しているかを直接知らされていなかった。また、仕様設計が新技術の導入を阻害してきたともいわれている。このような状況下で、構造物の仕様ではなく性能を設計の目標値とし、従来よりも設計の自由度があり、合理的な構造設計が可能な性能設計へと設計体系が移行しつつある。

性能設体系下では、設計者は構造物に求められる要求性能の種類とレベルを明確にせねばならず、またその性能が達成されるように設計せねばならない²⁾。さらに、社会資本で代表される土木構造物は公共性が強く、使用者かつ購入者である住民の意思を無視して作ることはいできない。今後、構造物の要求性能を定める際に、事業者や技術者の意見だけでなく、住民の意見も十分に聞くべきである³⁾。

社会資本整備に関わる情報の公開が求められる昨今、整備事業に地域住民の積極的な参加と彼らの要求を取り入れることは極めて大切になってきた。ただし、住民の生活様式や価値観が多様化していることもあって、住民の意見を聞きながら計画案を練り上げることは難しい。それゆえ、住民と住民との間、および、住民と事業者との間の合意には、長い時間と多くの労力を要する。また、住民のあらゆる意見を取り入れることは不可能で、相互の理解・合致・両立・妥協があつてこそ事業が進められる。

住民の社会資本整備事業への積極的な参加はその推進に効果的で、また事業のよき理解者ともなりうる。それゆえ、社会資本整備を企画する過程での事業者と技術者、

あるいは住民と事業者との合意が円滑に進められるように、後方から合意形成過程を支援するシステムが整っておれば、極めて有意であろう。

ここでは、性能設計体系を念頭に、社会基盤施設の要求性能をより具体的に提示する方法を提案し、構造設計へ住民・事業者・技術者が関わり、その要求性能を3者間で妥協しながら決定していく仕組みを考えてみる。ただし、社会資本整備という大きな枠組みの中で発生するすべての問題が解決できるような仕組みを考えることはなかなか難しい。それゆえ、橋梁設計における計画段階への住民参加を考え、住民・事業者・技術者の意見を要求性能の決定過程に反映され、その要求性能を満足する橋梁設計案を作り出すプロセスを構築する。

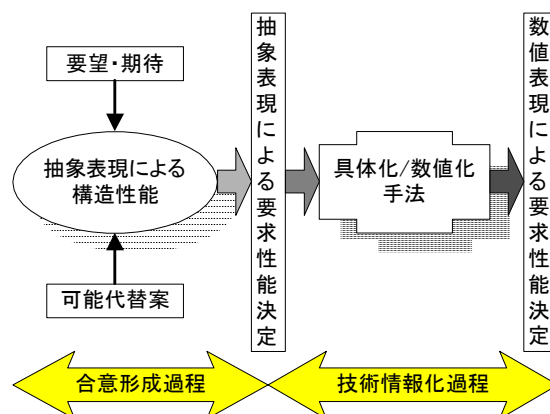


Fig.1 要求性能の決定過程

2. 鋼橋の性能設計体系における合意形成のあり方

2.1 構造物の性能設計

構造物の性能設計は、その生涯に想定されるさまざまな事象に対し、所要の性能（要求性能）を明らかにし、構造物の保有性能がその要求性能を満たしているかどうかを確認する設計体系のことである。性能設計体系は、構造物の保有性能を技術的知識に乏しい住民へわかりやすく開示すること、ISO に代表される国際標準化への対応、新技術の公平な参入環境の創出、コスト低減などを目的としている³⁾。

社会基盤施設の設計過程には、要求性能を決定する段階と、決定された要求性能に基づいて具体的に構造物を設計する段階がある。たとえば、要求性能の決定過程には、Fig.1 に示すように、抽象的な表現による要求性能の決定を行う合意形成過程と、数値表現によるより具体的な要求性能の決定を行う技術情報化過程がある。抽象的な表現による要求性能の決定過程は、要望や期待などからなる住民との契約の始まりで、設計技術者への契約条件である。そして、合意形成過程での曖昧な表現による混乱や不公平を避けるため、技術情報化過程がある。本研究では、要求性能の決定過程を対象とする。

2.2 合意形成の支援手順

性能設計体系では、合意形成に参加する人たちの意見をどのように設計に反映させ、最終案に到達するかが重要である。ここでは、まず、合意形成参加者の個々の意見を取り入れた設計案をそれぞれ作成し、それらを出発点に最終の合意案に辿り着くまでの過程をスムーズに行うことを目的としている。そこで、住民、事業者、技術者それぞれ立場の異なった意見を組み入れた設計案の誘導過程を提案する。合意形成過程の助けとなる合意形成支援の手順を Fig.2 に示す。

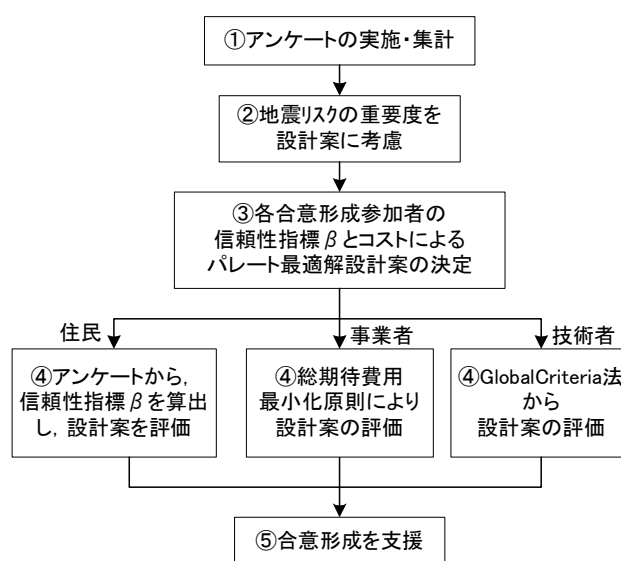


Fig.2 合意形成支援システムのフロー

地震多発国のわが国において、社会基盤施設の耐震性は極めて重要な性能である。ここでは高架橋を支える鋼製橋脚の耐震性能に注目し、橋脚の安全性と地震による損傷リスクを勘案した製作コスト間に存在するトレード・オフの関係を住民、事業者、技術者に問い、彼らが求める安全性とコストとのトレード・オフの関係を勘案した設計案を作成し、合意形成参加者の意見を反映させる。本研究では、単柱形式の鋼製橋脚を対象に、その耐震設計案を信頼性理論に基づき、設計案を複数作成する。なお、設計案を作成するのに必要な地震荷重モデルとして、必要降伏強度スペクトルを用いた。

3.1 対象とする鋼製橋脚

Fig.3(a)に示す単柱式の鋼製橋脚を対象とする。橋脚の断面形状は、Fig.3(b)のように、正方形の無補剛箱形断面に限定した。ただし、無補剛箱形断面の柱が局部座屈しない程度の板厚を考えるため、その最小板厚を道路

3. 道路橋を支える鋼製橋脚を対象とした信頼性理論に基づく耐震設計案の作成法

橋示方書⁴⁾を参考に

$$\frac{b_f}{t_f} = \frac{b_w}{t_w} \leq 48 \quad (1)$$

とし、3 者が望む安全性と経済性の基準がそれぞれ叶えられるように橋脚を設計し、必要な鋼製橋脚の板厚を決定する。箱形断面からなる橋脚の幅を $b_f = b_w = 2,000\text{mm}$ に限定し、橋脚の板厚 t_f 、 t_w を種々変化させ、安全性と経済性のレベルが異なった多数の設計案を提示する。ただし、使用鋼材を鋼種 SM490Y とした。

なお、上部構造に RC 床版からなる鋼製 2 主箱桁の道路橋を想定し、支間長を 40m 程度とした。これから上部構造の反力に相当する鉛直荷重 $P = 10.84\text{MN}$ を求め、Fig.3 に示す鋼製橋脚の圧縮力 P の値とした。

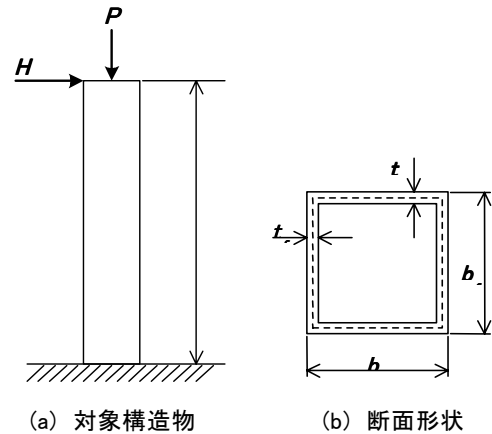


Fig.3 対象構造物

3.2 鋼製橋脚の設計案

上述したように、鋼製橋脚は、フランジと腹板の幅を $b_f = b_w = 2,000\text{mm}$ に固定し、板厚 $t_f = t_w$ を 42mm から 70mm まで 1mm ずつ変化させた。個々の設計案に対し、安全性を信頼性指標 β で、経済性を初期建設費とリスク費用の和でそれぞれ評価する。ここに、鋼製橋脚の初期建設費を Table 1 のように仮定した⁵⁾。

3.3 必要降伏強度の確率モデルの算定方法

必要降伏強度に対する確率モデルの算定法と、Fig.4 に示す手順を以下に述べる。すなわち、
構造物の固有周期、2 次剛性比、目標塑性率、地震動強度、地盤種を設定する。
設定した地盤種に対応する入力地震動を選定し、地震動強度に合わせて入力地震動の振幅を調整する。
必要降伏強度スペクトルを で調整された地震動を用いて のパラメータごとに算定する。
必要降伏強度の確率モデルをパラメータごとに整理する。必要降伏強度の標準値を求め、データのばらつきを考慮した必要降伏強度の確率モデルを決定する。

3.4 鋼製橋脚の限界状態関数の設定

限界状態に終局限界状態を考える。限界状態の限界状態関数 Z を

$$Z = P_a - P_{yn} \quad (2)$$

に仮定する。ここに、 P_a ：構造物の地震時保有水平耐力、 P_{yn} ：塑性率ごとの必要降伏強度。 $Z > 0$ の場合、構造物は安全な状態で、 $Z < 0$ の場合、危険な状態となる。

ここでは、終局限界状態を表すパラメータに塑性率 μ を選び、塑性率が $\mu=2.0$ の時を限界状態とする。

3.5 破壊確率の求め方

鋼製橋脚の破壊確率は、3.4 の限界状態関数に基づいて求める。地震荷重を確率量で扱えば、限界状態関数は確率分布する。地震荷重モデルの確率分布には、正規分

Table 1 鋼製橋脚の初期建設費

項目	単位	単価
SM490Y	t	97,585
塗装	m ²	1,700
輸送費	t	9,000
架設費	t	91,100

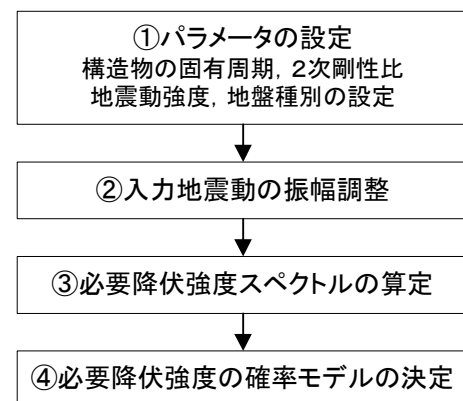


Fig.4 必要降伏強度の確率モデルの算定

布と非正規分布が考えられる。

(1) 正規分布の場合

信頼性指標 β は、確率変数 Z の標準偏差を σ とした時、 Z の平均値 μ と $Z=0$ との隔たりが σ の何倍かを示すパラメータで、

$$\beta = \frac{\mu}{\sigma} \quad (3)$$

で表される。

つぎに、信頼性指標 β と破壊確率 P_f の関係は

$$P_f = \Phi(-\beta) \quad (4)$$

ここに、 $\Phi(x)$ ：標準正規確率分布関数。

(2) 非正規分布の場合

地震荷重モデルが非正規分布の場合、 Z も非正規分布になるため、 Z を正規分布に変換する必要がある。正規分布に変換すれば、

$$F_z(z^*) = \Phi\left(\frac{z^* - \mu'_z}{\sigma'_z}\right) \quad (5)$$

$$F_z(z^*) = \frac{1}{\sigma'_z} \phi\left(\frac{z^* - \mu'_z}{\sigma'_z}\right) \quad (6)$$

となる．ここに， μ'_z と σ'_z は近似に使われる正規分布の平均値と標準偏差で，未知量である．式(5)と式(6)を μ'_z と σ'_z について解けば，

$$\sigma'_z = \frac{\phi\left(\Phi^{-1}\left(F_z(z^*)\right)\right)}{f_z(z^*)} \quad (7)$$

$$\mu'_z = z^* - \Phi^{-1}\left(F_z(z^*)\right)\sigma'_z \quad (8)$$

となる．信頼性指標 β は算定された μ'_z と σ'_z によって

$$\beta = \frac{\mu'_z}{\sigma'_z} \quad (9)$$

のように求められる．なお，信頼性指標 β と破壊確率 P_f の関係は

$$P_f = \Phi(-\beta) \quad (10)$$

である．

4. 地震リスクを勘案した鋼製橋脚の建設費用の算定法

社会基盤施設が多く整備され，ストックされるようになると，ライフサイクルコストを考慮に入れた維持管理が必要になる．ライフサイクルコストには，地震による構造物の破壊で発生するリスク費用が含まれる．リスク費用は，地震が起こっても構造物が破壊しなければ不要で，不確定な費用である．ここでは，リスク費用に合意形成参加者の考えを反映し，設計案を選出する．

4.1 鋼製橋脚のコスト

地震動が構造物に作用すると，それが破壊することがある．管理者である事業者や利用者である住民は，このことによって社会的・経済的な影響を被る．ここでは，社会的・経済的な影響を初期建設費と地震リスクによって表現する．すなわち，鋼製橋脚の維持にかかる総費用 C_t を

$$C_t = C_I + R \quad (11)$$

とする．ここに，

C_I ：初期建設費

R ：地震リスク

地震リスク R は地震時の損失と構造物の破壊確率の積

$$R = C_f(\mu_T/\alpha) \times P_f(\mu_T/\alpha) \quad (12)$$

によって与えられる．ここに，

C_f ：破壊時損失費用

P_f ：破壊確率

μ_T ：塑性率

α ：加速度

したがって，地震リスクの重要度を勘案した総費用は

$$C_{TR} = C_I + R \times (\text{地震リスクの重要度}) \quad (13)$$

4.2 地震リスクの重要度の設計案への適用

地震によって生じるリスクへの認識度は，住民，事業者，技術者で異なる．仮に，住民，事業者，設計者の地震リスクへの重要度をそれぞれ 1.17, 0.85, 1.00 と仮定する．ただし，住民のそれはアンケート結果に基づく．住民，事業者，技術者の設計案は，地震リスクを考慮した後の総費用を用いて決定される．すなわち，安全性と経済性との間にあるトレード・オフの関係を表した図から求められる総費用最小の設計案を限界点とし，その点より安全性の劣る設計案はすべて削除する．その結果，地震リスクを考慮した 3 者の設計案が Fig.6 のように求められる．

5. 事業者，技術者，住民それぞれの設計案

5.1 事業者の設計案

景気動向の不確かさから公共投資が削減される中で，構造物の計画から管理までを担う事業者にとって，経済性の評価は重要である．社会基盤施設の建設費は税金で賄われるため，所要の安全性が確保された設計案の中から最も経済的な案が選ばれるものと思われる．それゆえ，事業者の設計案決定法には総期待費用最小化原則を適用する．

地震リスクを考慮した後の設計案を用いて，費用最小の設計案を選択する．地震リスクの重要度を考慮した設計案を Fig.6 に示す．この場合，費用最小の設計案は，Table 2 に示すように，総費用が 781 万円の設計案 1 である．

5.2 設計技術者の設計案

地震リスクの重要度を取り入れた設計案は，経済性と安全性の 2 変数を目的変数とするパレート最適解として示される．そのパレート最適解の中から最適な設計案を選出するためにグローバル・クライテリア法⁸⁾を用いる．

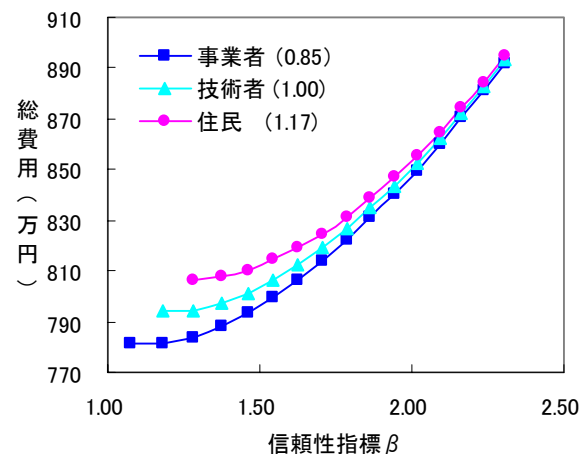


Fig.6 地震リスクを考慮した3者の設計案比較

(1) グローバル・クライテリア法

グローバル・クライテリア法は，パレート最適解の中から解を選択する手法である．これは，理想点へ最も近い点を優先度の高い解とする方法である．ここに，理想点とはすべての目的関数の下限値を座標成分とする座標点と定義される．たとえば，目的変数が f_1 と f_2 の 2 変数の場合，その理想点 Z は Fig.7 のように示される．グローバル・クライテリア法では，ユークリッド距離

$$d = \left(\sum_{i=1}^m |f_i(x) - z_i^*|^2 \right)^{\frac{1}{2}} \quad (14)$$

で表現される．ここに，

z_i^* ：理想点 i 番目の座標

m ：目的変数の数

理想点からの距離を計算する際，目的関数の値は異なる次元を持つため，基準化を行う．

$$f_s(x) = \frac{f_i(x) - f_{i\min}}{f_{i\max} - f_{i\min}} \quad (15)$$

ここに，

$f_s(x)$ ：目的関数値 $f_i(x)$ の基準化された値

$f_{i\max}$ ：目的関数の最大値

$f_{i\min}$ ：目的関数の最小値

理想点からの距離は，各目的関数の値を基準化した後に求められる．基準化された距離は 0～1 の値をとる．

(2) 設計技術者の設計案

技術者の設計案を例に，グローバル・クライテリア法の適用方法について述べる．地震リスクの重要度を考慮することによって絞られた技術者のパレート最適解を用いて，理想点からの距離を求め，優先度の高い設計案を選出する．目的変数は信頼性指標 β と総期待費用 C_t の 2 つで，設計案の関係をパレート最適解とするため，信頼性指標を $1/\beta$ とし，Fig.8 に示す．

目的値である信頼性指標と総期待費用の基準化を行い，理想点からの距離を求める．ここでは，距離 0.444 が理想点への最接近点となり，Table 3 に示すように，設計案 10 が技術者にとって優先度の高い設計案となった．

5.3 住民の設計案

社会基盤施設の建設費に関する住民アンケートを実施し，その結果から安全性レベルを算出する．住民へのアンケートでは，希望する初期建設費と，費用と安全性に関するイメージに関する問いに回答していただいた．アンケートの結果から，初期建設費に対する住民の要望を抽出し，具体的な安全性レベルである信頼性指標 β を算出する．

(1) アンケート結果を用いた構造物の信頼性指標算出法

構造物の安全性と経済性は，安全性レベルの上昇とともに，費用が必要になるという比例関係にある．そこで，住民の持つ費用と安全性に対するイメージを聞き，具体

Table 2 事業者の選出された設計案

設計案番号	信頼性指標	事業者(0.85)		
		初期	リスク	総期待
1	1.077	698	83	781
2	1.182	710	72	782
3	1.284	723	61	784
4	1.373	735	53	788
5	1.460	747	46	793
6	1.541	760	40	800
7	1.626	772	34	806
8	1.709	785	29	814
9	1.787	797	25	822
10	1.863	810	21	831
11	1.942	822	18	840
12	2.020	834	15	850
13	2.093	847	13	860
14	2.166	859	11	870
15	2.240	872	9	881
16	2.306	884	8	892

費用：(万円)

的に希望する建設費を取り出すことで，信頼性指標 β として示すことができる．破壊確率，信頼性指標の算出の手順を Fig.9 で示す．

a) 地震時保有水平耐力 P_R の確率モデル

住民に，費用と安全性の関係イメージと望む初期建設費のアンケートを行い，アンケート結果の得点付けを行う．ここでは，4 で作成された設計案の初期建設費を参考に，設計案の初期建設費の確率密度を求める．この初期建設費の分布によって地震時保有水平耐力の分布を求める．これより，地震時保有水平耐力の確率モデルを決定し，平均値と標準偏差を算出する．

アンケートでは，安全性と費用のイメージと，希望する初期建設費について回答を得た．希望する初期建設費を，費用が最小，平均より 5%ダウン(A)，平均(B)，平均より 5%アップ(C)，最大の 5 つの案とし，一番近いと思われる 1 つを回答してもらう．住民は橋梁の初期建設費について，具体的な費用をイメージすることは難しいため，ここでは回答案を 5 つとし，補足した．

初期建設費の分布から，地震時保有水平耐力の分布を求める．ここでは，文献 6) で求められた静的解析の結果を用い，地震時保有水平耐力の分布を求めた．解析モデルは，単柱形式の鋼製橋脚において，その幅が $b_f = b_w = 2.000\text{mm}$ で，板厚 $t_f = t_w$ が 42mm から 70mm まで 1mm ずつ変化する．載荷方法は，柱頭に上部構造の死荷重相当の圧縮力を作用させ，つぎに地震荷重に相当する水平方向の強制変位を柱頭に単調載荷している．この地震時保有水平耐力の分布から，確率モデルを決定し，平均値と標準偏差を求める．

b) 必要降伏強度 P_s の確率モデル

地震動，地動最大加速度，塑性率を必要降伏強度の確率モデルに代入し，必要降伏強度の平均値と標準偏差を算出する．必要降伏強度の確率モデルは，3.3 必要降伏強度の確率モデルの算定方法により算定する．

対象とする地震動は，兵庫県南部地震レベルを想定し，レベル 2 タイプ 地震動とする．終局限界を決定するパラメータとして，塑性率 μ に注目する．地動最大加速度 $A_{max}=800\text{gal}$ を想定し，塑性率 $\mu_T=2.0$ とする．

必要降伏強度スペクトルは，減衰定数が 0.05，復元力特性の 2 次剛性比がゼロ，入力地震動が道路橋示方書⁷⁾の標準地震入力波形である場合に対して算出される．

必要降伏強度の平均値の算定は，各種パラメータと必要降伏強度の関係を地震動最大加速度の変化に伴う必要降伏強度の増減と目標塑性率の変化に伴う必要降伏強度の増減に分けて考える．これらの結果から，必要降伏強度の標準値が得られる．たとえば，タイプ 地震動，種地盤，塑性率 $\mu_T=2.0$ の場合の必要降伏強度の平均値は

$$p_{s2} = 0.0026A_{max} \{19.28(\mu_T - 1.0) + 1.0\}^{-0.27} \quad (16)$$

となる． $A_{max}=800\text{gal}$ ， $\mu_T=2.0$ であれば，平均値は 0.92 となる．

必要降伏強度の確率モデルは，分布形に対数正規分布を仮定した．対数正規分布の確率密度関数は，

$$f_{P_s}(x) = \frac{1}{\sigma_{\ln(x)}\sqrt{2\pi}} \frac{1}{x} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln(x) - \mu_{\ln(x)}}{\sigma_{\ln(x)}}\right)^2\right] \quad (17)$$

ここに， $\mu_{\ln(x)}$ ：必要降伏強度の平均値．確率モデルによって，標準偏差は $\sigma_{\ln(x)}=0.190$ となった．

c) 破壊確率と信頼性指標の算出

算出の耐力と必要降伏強度の平均値と標準偏差から信頼性理論に基づいて破壊確率と信頼性指標 β を算出する．

本研究での破壊確率，信頼性指標の算出では，終局限界状態を考える．この場合，限界状態関数 Z は，

$$Z = P_R - P_S \quad (18)$$

ここに，

P_R ：地震時保有水平耐力

P_S ：必要降伏強度

式(18)の限界状態関数を用い，破壊確率を求める．ここに，地震時保有水平耐力 P_R と必要降伏強度 P_S を確率変数とし，モンテカル口法によって破壊確率を求める．その算定法について述べる．

(2)住民のアンケートによる信頼性指標の算出

住民 43 名に対して行ったアンケートの結果を用い，信頼性指標を算出する．ここに，アンケートは，橋梁建設時における住民の要望を問うことを目的とした．

対象鋼製橋脚は幅 $b_f=b_w=2,000\text{mm}$ の単柱形式で，板厚 $t_f=t_w$ を変化させながらアンケートに基づいて設計案を決定する．なお，地震動として，兵庫県南部地震レベルを想定する．その結果，地震時保有水平耐力の確率モデルを決定し，破壊確率，信頼性指標を算出する．

a)アンケートと地震時保有水平耐力の確率モデル

住民に，橋梁建設時の費用と安全性の関係イメージと，そのイメージにおける希望する初期建設費用についての

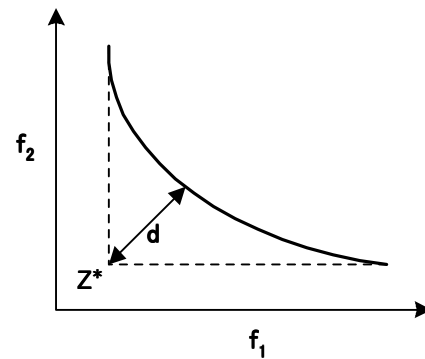


Fig.7 理想点Z

Table 3 理想点からの距離

設計案 番号	費用(万円)			距離
	初期	リスク	初期+リスク	
4	710	84	794.3	1.000
5	723	72	794.4	0.837
6	735	62	797.3	0.716
7	747	54	801	0.613
8	760	47	807	0.536
9	772	40	812	0.476
10	785	34	819	0.444
11	797	29	827	0.446
12	810	25	835	0.479
13	822	21	843	0.533
14	834	18	853	0.606
15	847	15	862	0.694
16	859	13	872	0.790
17	872	11	883	0.891
18	884	9	894	1.000

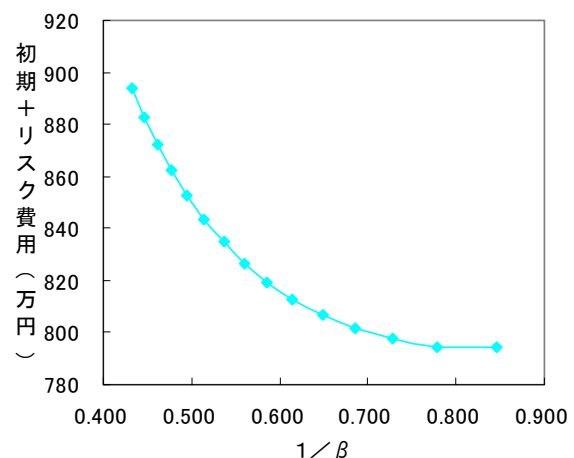


Fig.8 技術者のパレート解設計案

アンケート実施する．費用と安全性の関係イメージを 6 種類，初期建設費用は最小，平均より 5%ダウン(A)，平均(B)，平均より 5%アップ(C)，最大の 5 つの案から選択してもらった．本研究では，一般住民を対象に 43 名から解答を得た．調査概要とアンケート結果を Table

4. Table 5 に示す．

解答案を費用最小，平均より 5%ダウン(A)，平均(B)，平均より 5%アップ(C)，最大の 5 つの案とし，言葉による説明をくわえた．しかし，設計案は 29 案あるため，アンケート結果を直接利用することができない．そこで，初期建設費用の差額の関係から得点に差をもたせ，得点付けした．解答ごとの得点の分布をもとめる．

この解答ごとの得点分布にアンケート結果を用いて，初期建設費用ごと（設計案ごと）の得点を集計し，得点を確率密度に換算する．

この初期建設費用ごとの確率密度から，地震時保有水平耐力の分布を求め，確率モデルを決定する．地震時保有水平耐力の確率モデルから，平均値，標準偏差を算出する．その結果，平均値と標準偏差がそれぞれ 13.33，1.6878 となった．

b) 信頼性指標 β の算出

兵庫県南部地震クラスの地震を想定し，地震動にレベル 2 タイプ を採用した．終局限界を決定するパラメータに塑性率 μ を選ぶ．地動最大加速度を $A_{max}=800\text{gal}$ に想定し，構造物の損傷度は塑性率が $\mu_T=2.0$ 程度とした．

地震時保有水平耐力と必要降伏強度の平均値と標準偏差を用いて破壊確率を算出し，鋼製橋脚の信頼性指標 β を求めた．その結果，破壊確率と信頼性指標はそれぞれ 0.021 と 2.03 となった．この結果，住民の意見を反映すれば，フランジと腹板の板厚が $t=66\text{mm}$ の設計案が導き出される．

6. あとがき

本研究では，要求性能決定過程における住民の参画を積極的に求め，住民・事業者・技術者間の合意が円滑に形成支援の手順について提案した．単柱形式の鋼製橋脚の耐震性能を対象とし，橋脚設計案選出の際の住民，事業者，技術者の意見の考慮を試みた．提案した設計案の評価手法に，アンケート結果を適用し，合意形成支援の過程を考察した．その結果，つぎのような成果を得た

- 1) 地震リスクに合意形成参加者の地震リスクの重要度を考慮することで，設計案に各参加者の意見を反映させることができた．
- 2) 地震リスクを考慮し求めた設計案が，パレート最適解になるため，グローバル・クライテリア法により設計案を選出することができた．
- 3) アンケートから住民の持つ，構造物の安全性と費用の関係イメージと，要望する初期建設費用について調査した．このアンケート結果から，安全性レベルを算出することができた．すなわち，住民の意見を安全性レベルに反映することができた．

参考文献

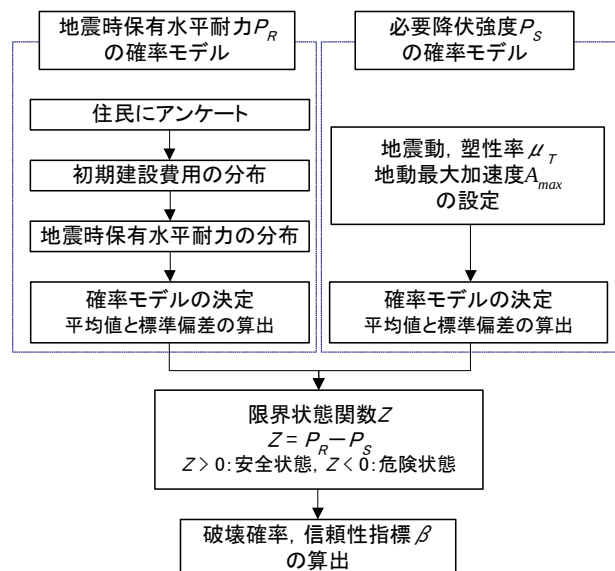


Fig.9 破壊確率および信頼性指標 β の算出手順

Table 4 調査概要

回答者数 (男+女)	43 (22+21)	
回答者の年齢	20歳代～50歳代	
主な職業	学生	53%
	社会人	33%
	主婦	12%

Table 5 アンケート結果

イメージ	①	②	③	④	⑤	⑥	その他
選択人数	2	8	7	15	8	2	1
最小	1	0	0	0	0	0	0
A	0	0	1	0	1	1	1
B	0	1	6	12	4	1	0
C	0	6	0	2	2	0	0
最大	1	1	0	1	1	0	0

- 1) 環境負荷低減型土木構造計画および施工法の基礎調査研究会編：環境負荷低減型土木構造物設計ガイドライン，土木学会，丸善，2001-4.
- 2) 鹿島建設土木設計本部編：耐震設計法 / 性能設計 - 新・土木設計の要点，鹿島出版会，2003-8.
- 3) 土木学会構造工学委員会編：性能設計体系における合意形成・評価手法に関する研究小委員会報告書，土木学会，2003-12.
- 4) 日本道路協会編：道路橋示方書・同解説， 共通編・ 鋼橋編，丸善，1996-12.
- 5) 古田 均・片岡宏文・堂垣正博：地震損傷に注目した道路橋橋脚のリスク分析，JCOSSAR2003 論文集，日本材料学会，Vol.5，pp.859-866，2003-11.
- 6) 後藤秀典：信頼性理論に基づく鋼製橋脚の耐震性能照査法，土木学会第 57 回年次学術講演会，I-394，pp.787-788，2002-9.
- 7) 日本道路協会編：道路橋示方書・同解説， 耐震設計編，丸善，1996-12.

- 8) Virrulsri, J.・酒井信介・泉 聡志：ロバストネス指標に基づく多目的最適化手法とその原子力発電プラント保守計画策定問題への適用，材料，日本材料学会，Vol.53，No.1，pp.84-89，2004-1.
- 9) 平田京子・石川孝重：ユーザーの要望する耐震安全性レベル - 社会的ユーザーから要求安全性レベルを探る - ，日本建築学会大会学術講演梗概集（中国）（構造），日本建築学会，pp.19-20，1999-9.