

関西大学大学院 学生員 〇片岡宏文 関西大学工学部

田淵仁子

関西大学大学院 学生員 小山和裕

関西大学総合情報学部 正会員 古田 均

関西大学工学部

正会員 堂垣正博

1. まえがき

近年注目されている構造物の性能照査型設計では、明確な構造物の性能が要求される。また、社会資本整備における透明性は重要で、かつ住民との協同による事業展開が住民のニーズを反映する上で望ましい。しかし、住民とともに協同での事業展開は極めて難しく、要求性能の決定過程における住民、事業者、技術者間の合意にはかなりの時間と労力を要する。そこで、鋼構造、とくに鋼製橋脚の耐震設計を例に、住民・事業者・技術者間の異なる意見を活かした設計の進め方をテーマに、合意案に至るまでの決定過程がスムーズに行える合意形成支援システムを考える。

2. 合意形成支援

通常、橋梁を計画する時点で要求性能を決定されるが、その過程に住民の参加を求め、住民が描いている構造物の安全性をアンケートから聴取し、それを設計案に反映させることを考える。この評価から各合意形成参加者の意見を考慮した設計案を決定する。本合意形成支援の手順を図-1 に示す。

3. 耐震信頼性設計に基づく鋼製橋脚の設計案

図-2 に示す鋼製橋脚の耐震性能設計を考える。橋脚の高さを $h=10\text{m}$ 、無補剛正方形断面の一边を $b_f=b_w=2,000\text{mm}$ 、上部構反力に相当する鉛直荷重を $P=10.84\text{MN}$ 、使用鋼種を SM490Y とする。

設計変数に鋼製橋脚の板厚 ($t_f=t_w$) を選び、42mm から 70mm の範囲で断面設計した多数の設計案に対する安全性いわゆる信頼性指標 β と、経済性いわゆる総建設費用を求め、住民・事業者・技術者の設計案に反映させる。

そこで、鋼製橋脚の地震時の限界状態を終局限界状態とし、その限界状態関数 Z を

$$Z = P_a - P_{yn} \quad (1)$$

のように仮定する。ここに、 P_a は構造物の地震時保有水平耐力、 P_{yn} は設定した塑性率に対する必要降伏強度である。信頼性指標 β は確率変数である限

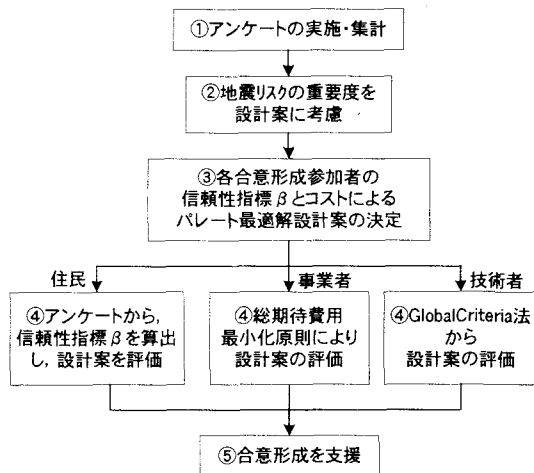


図-1 合意形成支援の手順

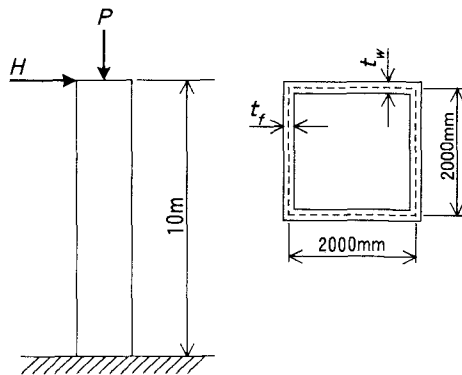


図-2 対象構造物とその断面形状

界状態関数 Z の平均値 μ_z と標準偏差 σ_z によって

$$\beta = \mu_z / \sigma_z \quad (2)$$

から求められる。また、破壊確率 P_f は信頼性指標 β と標準正規分布関数 Φ によって、

$$P_f = \Phi(-\beta) \quad (3)$$

で与えられる。

4. 地震リスクを設計へ反映する方法

地震動が構造物に作用した場合、それは破壊する可能性がある。管理者である事業者や利用者である

住民は、社会基盤の損傷によって何らかの社会的・経済的影響を被る。ここでは、社会的・経済的影響の度合を初期建設費用 C_I と地震リスク R によって表す。すなわち、総費用 C_T は

$$C_T = C_I + R \quad (4)$$

ここに、 R は地震時の破壊損失費用 C_f と構造物の破壊確率 P_f との積

$$R = C_f(\mu_T/\alpha) \times P_f(\mu_T/\alpha) \quad (5)$$

で求められる。ここに、 μ_T ：塑性率、 α ：加速度である。それゆえ、地震リスクの重要度を取り入れた総費用 C_{TR} は

$$C_{TR} = C_I + R \times (\text{地震リスク重要度}) \quad (6)$$

地震リスクの重要度はその認識によって住民、事業者、技術者間で異なる。ここでは例として、住民の重要度をアンケートに基づいて 1.17、事業者と技術者の重要度はそれぞれ 0.85、1.00 と仮定した。なお、安全性と経済性の間にあるトレード・オフの関係は地震リスクを加味した総費用 C_{TR} で勘案されている。それゆえ、住民、事業者、技術者による設計案のうち、設定された最小総費用の下限値を下回る案は削除した。地震リスクを考慮した3者の設計案を図-3に示す。

5. 住民、事業者、技術者の設計案とその合意

(1) 住民の設計案：これは、橋脚の初期建設費用に関するアンケート結果を用い、算出された信頼性指標 β から求められる¹⁾。住民が容認する初期建設費用を20代～50代の男女43名にアンケートし、それに対応する構造物の信頼性指標 β を図-4のフローにしたがって算出する。その結果、地震時保有水平耐力の平均値と標準偏差がそれぞれ 13.33、1.69、必要降伏強度の平均値と標準偏差がそれぞれ 0.92、0.19、信頼性指標が $\beta = 2.03$ と求められた。この場合、最適解の目的変数は $t = 66\text{mm}$ と求められた。

(2) 事業者の設計案：これは、総期待費用が最小になるような信頼性指標 β の設計から求められる。ここでは、地震リスクの重要度を勘案し、式(6)から求められた図-3に示す多くの設計案の中から決定される。この場合、最適解の目的変数は $t = 55\text{mm}$ と求められ、その信頼性指標は $\beta = 1.08$ である。

(3) 技術者の設計案：これは、Global Criteria 法により求められる案である。本法は、パレート最適解の中から解を決定する手法である。すべての目的関

数の下限値を基準とし、それに最も近い解を優先度の高い解として求める。ここでは、図-3の技術者の設計案をこれによって決定する。その結果、最適解の目的変数が $t = 62\text{mm}$ と求められ、その信頼性指標は $\beta = 1.71$ である。

6. あとがき

本研究では、道路橋の設計時に住民の参加を求め、地震リスクの考慮やアンケートによる信頼性指標の算出など通じて、設計案を評価し、選定する方法を提案した。地震リスクに対する3者の考えを設計案に反映させ、アンケートによる住民の意識を取り入れた信頼性指標を算出した。

参考文献 1) 平田京子・石川孝重：社会的に要求される耐震安全性レベルの確率的評価—ユーザーの要望をふまえた性能設計の構築に向けて—，日本建築学会構造系論文集，日本建築学会，No.543，pp.23-29，2001-5.

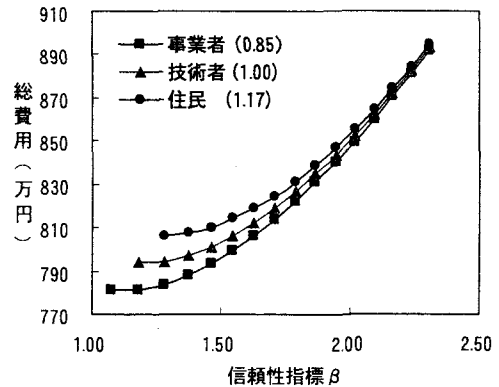


図-3 住民・事業者・技術者の地震リスクを加味した設計案

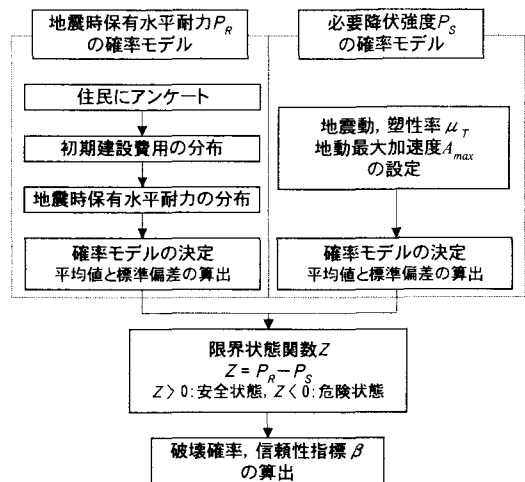


図-4 破壊確率と信頼性指標 β の計算過程