

室蘭工業大学 学生員 杉村朋之 室蘭工業大学 正 員 杉本博之
片山鉄工所(株) 正 員 夏秋義広

1. 目的 鋼とコンクリートを用いた複合斜張橋は、それぞれの構造材料の特性を生かした合理的で経済的な構造物と考えられる。その設計上の問題点の一つとして、鋼とコンクリートの接合部の設計が挙げられる。複合接合部に要求される機能としては、構造的性(応力の連続性確保、有害な応力集中の回避等)、施工性(最小寸法制限)、経済性(最小コスト)である。これらは同時に満足できないため、設計者は妥協を図らなければならない。このとき接合部の合理的な設計のための指標として、何らかの方法による接合部の評価が必要ではないかと思われる。そこで、本研究では接合部の機能を総合的に考慮するため、多目的最適化手法¹⁾を用いた評価法を試みたのでここに報告する。

2. 評価の対象と多目的最適化問題への定式化 検討する接合形式は、生口橋等で施工実績のある部分接合タイプの後面プレート方式とし、対称性を考慮して1セルの上半分を解析対象とする。第1報として、圧縮力を受ける場合を考えた。解析モデルを図-1に示す。スタッドは格点バネ要素にモデル化した。

○モデル諸定数

$E_c = 3.5 \times 10^5 \text{ kgf/cm}^2, \nu_c = 0.3$

$E_s = 2.1 \times 10^6 \text{ kgf/cm}^2, \nu_s = 0.16$

$K_s = 1.5 \times 10^5 \text{ kgf/cm} : \text{スタッド1本当り}^2)$

作用荷重 1セル 400tfの圧縮力

セル分割数 = $5 \times 2 \text{ O}$

平面ひずみ要素使用

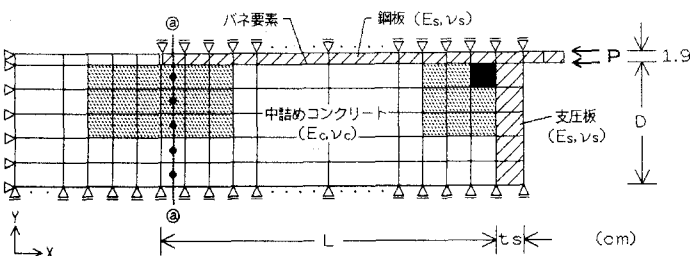


図-1. 解析モデル

接合部解析のパラメーターとしては、接合部セルの高さと長さ、ずれ止めの大きさとピッチ、支圧板の厚さ、作用荷重の大きさが考えられる。また、考慮すべき応力としては、ジベル応力、中詰めコンクリート応力、支圧板応力である。本研究では、これらの応力の平滑化を評価の対象とした。さらに、接合部をできるだけコンパクトにしたいという要求を考慮し、セル面積の最小化を加えた。

最適設計における設計変数には、接合部セルの高さおよび長さ、支圧板の厚さ、X方向のジベルピッチ(奥行き方向のピッチは 17.5cm で固定)とした。目的関数としては、セル面積の最小化および格点バネ反力(ジベルに作用するせん断力)、図-1における①-①ラインのコンクリートX方向応力、支圧板せん断力の3つの応力のばらつきをそれぞれ変動係数で表し、最小化するように設定する。制約条件には、スタッド1本に働く最大ジベルせん断力、網みかけの部分のコンクリート主応力および支圧板のせん断力を考慮した。ただし、支圧板付近の隅角部(図中■要素)に高圧縮域が発生するが、この部分では3軸圧縮応力状態となるため、その要素応力は制約条件から除外している。多目的最適化問題の定式化を以下に示す。

○目的関数

接合部セル面積(cm^2): $f_1 = D \times L \rightarrow \min$ (1) コンクリート応力変動係数(%): $f_3 = \text{CVC} \rightarrow \min$ (3)

格点バネ反力変動係数(%): $f_2 = \text{CVD} \rightarrow \min$ (2) 支圧板せん断力変動係数(%): $f_4 = \text{CVS} \rightarrow \min$ (4)

○制約条件

最大ジベルせん断力: $g^{(1)} = Q_{\max} - Q_a \leq 0$ ($Q_a = 2904 \text{ kgf/本}$) (5)

コンクリート主応力: $g^{(2)}_i = \sigma_i - \sigma_a \leq 0$ ($i=1 \sim 26, \sigma_a = 140 \text{ kgf/cm}^2$) (6)

支圧板のせん断力: $g^{(3)}_j = \tau_j - \tau_a \leq 0$ ($j=1 \sim 5, \tau_a = 1200 \text{ kgf/cm}^2$) (7)

○設計変数と上下限值

接合部セル高さ (cm) : $15.0 \leq D \leq 50.0$ (8)

接合部セル長さ (cm) : $30.0 \leq L \leq 300.0$ (9)

支圧板の厚さ (cm) : $1.0 \leq ts \leq 5.0$ (10)

ジベルピッチ (cm) : $11.0 \leq PX \leq 60.0$ (11)

表-1. 参考点の設定

	理想点	希求水準	最悪点
D×L (cm ²)	0.0	2845.0	15000.0
CVD (%)	0.0	20.0	100.0
CVC (%)	0.0	4.0	100.0
CVS (%)	0.0	180.0	250.0

表-2. 各変数に対する挙動

	CVD	CVC	CVS	隅角部の応力
D	下がる	---	上がる	下がる
L	上がる	下がる	---	下がる
ts	上がる	---	下がる	下がる
PX	---	---	---	上がる

最適化には改良型満足化トレードオフ法¹⁾を用いる。この手法では理想点、最悪点、希求水準および満足度パラメーターを設定しなければならない。理想点と最悪点は目的関数値としてそれぞれ最も良い値と最も悪い値であり、希求水準とはこうなって欲しいと思う値である。これらの値を表-1のように与えた。満足度パラメーター ξ とは、希求水準に対してこの程度は達成して欲しいという要求の度合いをあらわし、その程度に応じて0~1の値を与える。0であれば一般の多目的最適化における目的関数と同じ扱われ、その値が希求水準に達することは期待できない。また1であれば、その目的関数の希求水準にかならず達する。このパラメーターを適当に設定することにより、設計者の意志を反映した設計が可能となる。

3. 数値計算例 最適化の計算を行う前に、1変数の変化に対する変動係数の動きと隅角部要素の応力の応答を調べた。表-2に示す結果は、各変数値が大きくなることに対する挙動である。これにより、格点バネ反力変動係数CVDと支圧板せん断力変動係数CVSの間には負の相関があることがわかる。また、ジベルピッチPXの変化は、変動係数にはほとんど影響を及ぼさないが、ジベルピッチを密にすると隅角部の応力を緩和させることができる。したがって、セル面積最小化を考慮する場合においては、どのケースにおいてもジベルピッチは下限値11cmが選択されると考えられる。

接合部の多目的最適設計例を表-3に示す。基準寸法設計とは、本研究において接合部寸法の基準とした設計³⁾である。次に最小重量設計を行った結果を示した。アクティブとなったのは隅角部応力である。設計Aはすべての満足度パラメーターを0.0として最適化を行った。基準寸法設計と比較して、変動係数はほぼ等しいが、セル面積はかなり減少する設計が得られている。設計Bは支圧板せん断力の平滑化を重視し、満足度パラメーター $\xi_p=0.8$ とした設計である。基準寸法設計と比べてCVSが26%減少している。設計Cはジベルせん断力の平滑化を重視($\xi_p=0.5$)した設計である。設計Dはセル面積とジベルせん断力の平滑化を重視した設計、設計Eはセル面積と支圧板せん断力の平滑化を重視した設計である。設計B、D、Eの結果を見ると、tsの値はCVDとCVSのどちらか重視した方の項目の値を減少させる方向に移動し、重視しない項目に対してはDとL

表-3. 接合部の多目的最適設計例

によって減少させようとする傾向があると思われる。詳細は講演時に発表の予定である。

	D	L	ts	PX	セル面積	ξ_a	CVD	ξ_b	CVC	ξ_c	CVS	ξ_s
基準寸法設計	35.6	150.	2.5	17.5	5840.	-	32.0	-	5.9	-	211.	-
最小重量設計	26.8	106.	5.0	11.0	2845.	-	43.5	-	7.4	-	131.	-
設計A	35.1	125.	2.6	11.0	4400.	0.0	30.7	0.0	6.9	0.0	207.	0.0
設計B	42.4	105.	4.0	11.0	4468.	0.0	30.7	0.0	7.7	0.0	185.	0.8
設計C	41.6	120.	2.7	11.0	4971.	0.0	27.3	0.5	7.2	0.0	216.	0.0
設計D	35.5	135.	1.7	11.0	4768.	0.5	27.7	0.7	6.6	0.0	244.	0.0
設計E	37.8	99.	5.0	11.0	3757.	0.6	34.9	0.0	7.6	0.0	158.	0.6

4. あとがき 本研究では、複合斜張橋の接合部の最適設計を目的とし、接合部のコンパクト化および応力の平滑化を評価項目として取り上げ、多目的最適化手法により若干の考察を加えた。今後より良い接合部の設計を目的として、種々のケースについて検討していく予定である。

参考文献 1) 亀廻井寿明・杉本博之・中山弘隆：構造最適設計のための改良型満足化トレードオフ法に関する研究、土木学会論文集、No. 441/I-18, pp.177-126, 1992.1
 2) 山本稔・中村正平：Studd Shear Connector の試験報告、建設省土木研究所、109号、1961.
 3) 鋼橋技術研究会・複合構造接合部研究部会：平成3年度研究報告書、1992.