

I-118 不完全合成板の解析理論 の比較について

北海道大学工学部 正員 佐藤 浩一
 北海道大学工学部 正員 渡辺 昇
 (株) 釧路製作所 正員 井上 稔康

1. まえがき

橋梁における複合構造物の一つに鋼桁とコンクリート床版とを頭つきスタッドジベルで完全に剛に一体として結合した合成桁(完全合成桁という)があるが、ジベルはある間隔で離散的に配置されており、変形するため(ずれが生じるため)完全に一体となった合成桁とはならない(不完全合成桁という)。また、ジベルがなければ鋼とコンクリートとの単なる重ね梁になる。実際の合成桁は完全合成桁と重ね梁の中間の挙動を示す不完全合成桁である。不完全合成桁の解析理論は文献^{1), 2), 3), 4)}などに示されている。

一方、CS橋⁵⁾のように鋼板とコンクリート床版とを用いた合成板においても上述のような不完全合成板となり、完全合成板と重ね板との中間の挙動を示すはずである。上述の不完全合成桁の解析理論を不完全合成板の解析理論に拡張したものととして文献⁶⁾があるが、この理論では鋼板厚はコンクリート板厚に比較して非常に小さいとし、断面諸元の算定においてある部分で鋼板厚を零としている。従って、近似解析理論であるから、鋼板が厚くなれば誤差が大きくなり、適用できなくなる。著者らは鋼板厚を考慮したより厳密な解析理論を既に誘導し、数値計算により不完全合成板の構造特性を示している⁸⁾。

本報告は近似解析理論⁶⁾との関係を明らかにし、数値計算によりその差異を比較検討したものである。

2. 不完全合成板の解析理論(偏微分方程式)

図-1に示すような不完全合成板の変形 W_0 に関する偏微分方程式は文献⁸⁾より次の通りである。

$$D_v \nabla^6 W_0 - D_v w^2 \nabla^4 W_0 = -w^2 p + \frac{n I_v}{n I_s + I_c} \nabla^2 p \quad (1)$$

ここで、

$$w^2 = K \frac{n I_v}{n I_s + I_c} \frac{n}{E A_c} \frac{S}{S_c} \quad (2)$$

コンクリート板厚 h に比べて、鋼板厚 t が十分小さいとすれば(図-1参照)、式(1)において、

$$A_v \rightarrow A_c/n, \quad S \rightarrow 0.5 * h, \quad S_c \rightarrow 0, \quad S_s \rightarrow S \rightarrow 0.5 * h, \quad I_s \rightarrow 0 \quad (3)$$

とし、 $C = \frac{E'_s A_s}{E_c A_c} = \frac{E'_s t}{E_c h}$ (4) とおけば、 $D_v \doteq \frac{E'_c h^3}{12} (1 + 3C)$ (5)

$$\frac{n I_v}{n I_s + I_c} \doteq 1 + 3C, \quad w^2 \doteq (1 + 3C) \cdot (1 + C) \frac{K}{E'_s t} \doteq (1 + 4C) \frac{K}{E'_s t} \quad (6)$$

となり、式(3),(4),(5),(6)を式(1)に代入すれば、

$$\frac{E'_c h^3}{12 (1 + C)} \left[\frac{E'_s t}{K} \nabla^6 W_0 - (1 + 4C) \nabla^4 W_0 \right] = -p + \frac{E'_s t}{K (1 + C)} \nabla^2 p \quad (7)$$

となり、近似解析理論⁶⁾になる。なお、上式において y に関する項を零とすれば不完全合成桁の場合の常微分方程式となる^{2), 4)}。

ここで、 K = ジベルのばね定数 ($K = 0$ の場合は重ね板、 $K = \infty$ の場合は完全合成板)、 E'_s = 鋼のヤング率、 E'_c = コンクリートのヤング率、 n = 鋼とコンクリートとのヤング係数比、 h = コンクリート板厚、 t = 鋼板厚、 D_v = 合成板の曲げ剛性、 p = 荷重、 W_0 = 不完全合成板のたわみ、 I_c = コンクリート板のその重心 C に関する単位幅あたりの断面二次モーメント、 I_s = 鋼板のその重心 S に関する単位幅あたりの断面二次モーメント、 I_v = 合成断面の単位幅あたりの断面二次モーメント、 A_v = 合成断面積。

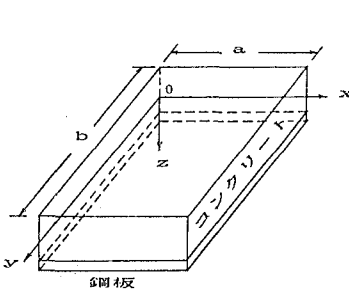


図-1(a)

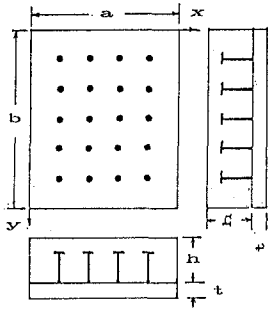


図-1(b)

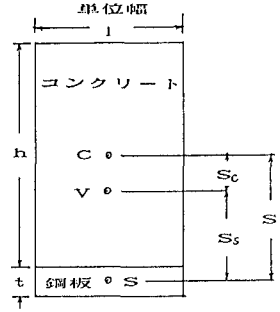


図-1(c)

3. 数値計算による解析理論の比較

図-2は横軸に式(4)のC(無次元量)をとり、縦軸に近似解析理論によるたわみ $W_{u_0}(\text{近})$ と厳密解析理論によるたわみ $W_{u_0}(\text{厳})$ との比をとり、ジベルのばね定数によってどのように変化するかを示したものである。条件は図-1において、四辺単純支持の長方形板とし、ナヴィエの2重フーリエ級数を用いて解析した。荷重は等分布満載である。図-2よりCが大きくなれば(コンクリート板厚hを一定とした場合、鋼板厚tが厚くなれば)、差が大きくなることわかる。これは誤差が大きくなることを意味しており、自ずから適用限界が決まってくる。ここでは、辺比 $(b/a)=2$ の場合を図示しているが、辺比が大きくなれば、Kの各曲線は下がっていく。しかし、 $K=0$ と ∞ 曲線は辺比に関係なく一定である。

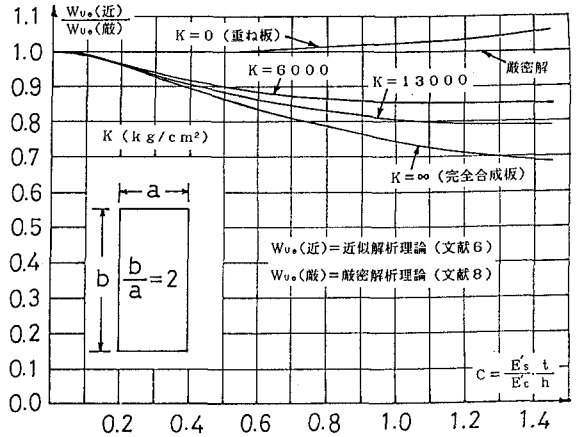


図-2 合成板中央点のたわみの比

4. あとがき

本研究で得られた結論は次の通りである。

1. 文献⁶⁾は文献⁸⁾と比較して、 $K=0$ 近傍を除いて、板剛性を大きく評価している。
2. K が一定でも、 C が大きくなれば(鋼板厚 t が厚くなれば)、文献⁸⁾との差が大きくなる。
3. C が一定でも、 K が大きくなれば(完全合成板に近づけば)、文献⁸⁾との差が大きくなる。
4. 文献⁶⁾の近似解析理論は K が大きい場合でも、 $C < 0.4$ 程度であれば、辺比 (b/a) にほとんど関係なく、10%程度の差の範囲以内で使用できる。

(参考文献) 1)A.ハウラネック/0.シュタインハルト:鋼橋の理論と計算(橋 善雄、小松定夫共訳)、山海堂、1965。 2)島田静雄、熊沢周明:合成桁の理論と設計、山海堂、1973。 3)構造力学公式集、土木学会編、1986。 4)佐藤浩一、渡辺昇:差分方程式の剛性マトリックス解析法について、土木学会北海道支部論文報告集、第44号、pp.87-92、1988。 5)渡辺昇、井上稔康:C S橋の開発的研究-鉛直突起板の設計について、鋼パネル板のリブの設計について、土木学会北海道支部論文報告集、第43号、pp.31-36、pp.37-42、1987。 6)J.L.CLARKE, C.T.MORLEY:Steel-concrete composite plates with flexible shear connectors, Proc.Instn Civ.Engrs, Vol.53,Part2, pp.557-568, Dec.,1972。 7)横田敏幸、佐藤浩一、渡辺昇、井上稔康:C S橋の頭つきスタッドジベルの解析と実験、土木学会北海道支部論文報告集、第44号、pp.65-68、1988。 8)佐藤浩一、渡辺昇、井上稔康:不完全合成桁と合成板の解析理論の相似性について、土木学会北海道支部論文報告集、第45号、pp.55-60、1989。