

I-55 有限プリズム法による木橋部材の弾性衝撃応答解析

岩手大学大学院工学研究科 学生会員 ○堀内 寛之
 岩手大学工学部 正会員 宮本 裕
 岩手大学工学部 正会員 出戸 秀明

1. まえがき

近年、集成材を主材料とする近代木橋が歩道橋ばかりではなく、車道橋にも架設されるようになってきた。近代木橋は、集成材のみの部材と部材を繋ぐ連結部から構成されていることから、これらの部材の剛性評価は設計上、維持管理上重要な問題となる。剛性評価の手法には、部材への打撃試験が挙げられる。連結部は集成材と鋼から構成される複合材料部材であるので、打撃試験の実施において、集成材のみの単一材料部材と複合材料部材の動的特性を把握しておくことが必要である。しかしながら、集成材と鋼から成る連結部内部の波動伝播性状は単一材料部材に較べて複雑になると考えられる。本論文では、鋼板を挿入して外側からボルトで締め付ける方式の連結部を取り上げる。鋼板挿入型連結部を集成材と鋼から成る複合構造体と考え、複合構造体内部の波動伝播性状を明らかにし、健全度評価に応用することが本論文の目的である。著者らは先の報告¹⁾で、有限帯板法による2次元弾性衝撃応答解析により連結部内部の波動伝播性状を明らかにした。本論文では、有限プリズム法²⁾による3次元弾性衝撃応答解析を行い、2次元解析で求められない断面内の応答伝播挙動を明らかにするとともに、断面内が劣化した部材モデルの解析を行い、健全度評価への応用を試みた。

2. 解析理論

図-1に示すプリズム要素において、 x 、 y 、 z 方向の節線力を T_i 、 Y_i 、 Z_i ($i=A, B, C, D$)とする。また、 x 、 y 、 z 方向変位を u 、 v 、 w とし変位関数を次のように仮定する。

$$\begin{Bmatrix} u \\ v \\ w \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} u_A & u_B & u_C & u_D \\ v_A & v_B & v_C & v_D \\ w_A & w_B & w_C & w_D \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} f^{(A)} \\ f^{(B)} \\ f^{(C)} \\ f^{(D)} \end{Bmatrix} \quad (1)$$

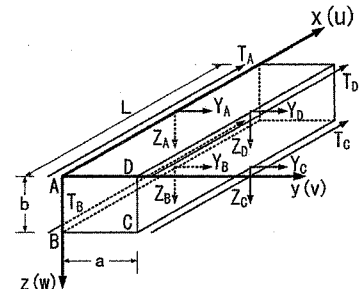


図-1 プリズム要素の力と変位

ここで、 $f^{(A)} = (1-\eta)(1-\xi)$ 、 $f^{(B)} = (1-\eta)\xi$ 、 $f^{(C)} = \eta\xi$ 、 $f^{(D)} = \eta(1-\xi)$ 、 $\eta = y/a$ 、 $\xi = z/b$

であり、サフィックスA、B、C、Dはそれぞれ($y=0, z=0$)、($y=0, z=b$)、($y=a, z=b$)、($y=a, z=0$)での境界物理量を表す。 x 、 y 、 z 方向の動的釣り合い方程式にガラーキン法を適用し、両端単純支持を仮定し軸方向に関して有限フーリエ変換を施すと、次式のような有限プリズム要素の動的基本式が求まる。

$$[K]\{\bar{S}_m[\delta]\} + [M]\{\bar{S}_m[\ddot{\delta}]\} = \{\bar{S}_m[f]\} \quad (2)$$

ここで、 $\{\bar{S}_m[\delta]\} = [C_m[u_A], S_m[v_A], S_m[w_A], \dots, S_m[w_D]]^T$ 、 $\{\bar{S}_m[f]\} = [C_m[T_A], S_m[Y_A], S_m[Z_A], \dots, S_m[Z_D]]^T$

ただし、 $C_m[u_A] = \int_0^L u_A \cos \frac{m\pi}{L} x dx$ 、 $S_m[v_A] = \int_0^L v_A \sin \frac{m\pi}{L} x dx$ で他もこれに準ずる。($m=1, 2, 3, \dots$)

$[K]$ 、 $[M]$ はそれぞれ12行12列の剛性マトリックス、質量マトリックスであり、2ドットは時間に関する

2階微分を表す。式(2)を構造モデルを構成している各要素に適用し、構造物全体の動的釣り合い式を組み立て、ノーマルモード法により衝撃応答解析を行った。減衰も考慮可能である。

3. 解析結果と考察

図-2は集成材と鋼材からなる両端単純支持された複合梁モデルである。集成材と鋼材の材料特性値は表-1のとおりである。座標は図-1の定義に従いスパン方向にx軸、板厚方向にy軸、桁高方向にz軸とする。また、フーリエ級数の項数は50項、要素分割は板厚方向に8分割、桁高方向に12分割し、合計96要素とする。荷重は、スパン中央に衝撃波形がsin波、荷重の最大値 $P_{max}=1N$ 、荷重載荷幅 $2C=10mm$ 、荷重継続時間 $t_c=3.91msec$ で載荷した。減衰定数は集成材梁モデルで0.0045、複合梁モデルで0.0110としている。本論文では、健全度評価への応用のための解析例として、腐食により集成材断面の外側の弾性係数が低下した場合の応力応答の変化について検討した。集成材梁モデルおよび複合梁モデルにおいて、外側から30mm腐食が進み、弾性係数が E' まで低下したとして、健全な時の弾性係数 E との比 E'/E を表-2のように4通りに変化させた。図-3は各弾性係数比の場合の集成材梁モデル打撃点における曲げ応力応答曲線である。これらの結果より、弾性係数が低下するに従い、打撃点に生じる応力が小さくなるとともに、応答曲線の周期が長くなっていることが分かる。図-4は、弾性係数比が1.0および0.1の場合の集成材梁モデルのスパン中央断面における曲げ応力分布図を比較したものである。図より、 $E'/E=0.1$ の場合は弾性係数が低下した部分より健全な箇所には大きな応力が生じていることがわかる。詳しい説明およびその他の検討結果については、当日発表予定である。

4. まとめ

本研究により、腐食等により部材の健全度が低下すると部材内部に伝わる波動伝播性状が大きく変化することが分かった。本解析手法は、剛性低下や部材内部の空隙などのモデル化が可能である。よって、本解析手法を用いて健全度低下による衝撃応答特性の変化傾向をさらに明らかにすることができれば、現場打撃試験による木橋部材の健全度評価に応用できるものと思われる。

参考文献

- 1) 荒田智博・岩崎正二・出戸秀明・宮本裕・堀内寛之：有限帯板法による鋼と集成材からなる複合梁の弾性衝撃応答解析、平成15年度土木学会東北支部技術研究発表会講演概要、I-41、pp.82-83、2004。
- 2) 菅田紀之・岸徳光：衝撃荷重載荷による矩形梁の動的応答倍率、構造工学論文集、Vol.39A、pp.1501-1511、1993。

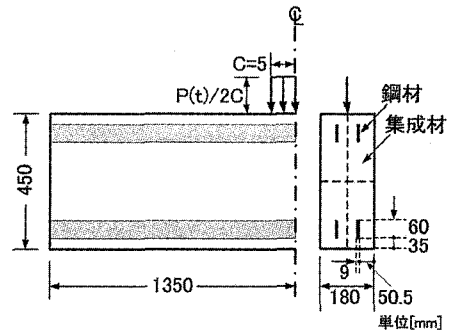


図-2 集成材と鋼材の複合梁モデル

表-1 材料特性

	弾性係数 [N/mm ²]	ポアソン比	単位体積質量 [N s ² /mm ⁴]
集成材	9298.78	0.422	5.51×10^{-10}
鋼材	2.06×10^5	0.300	7.85×10^{-9}

表-2 弾性係数比

	①	②	③	④
E [N/mm ²]	9298.78			
E' [N/mm ²]	9298.78	6509.146	4649.39	929.878
E'/E	1.0	0.7	0.5	0.1

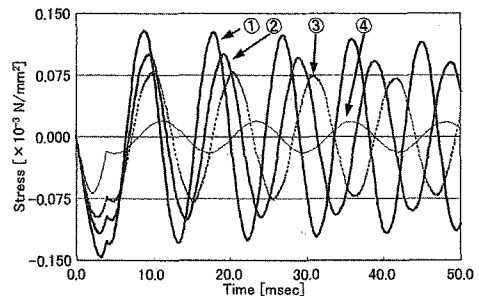
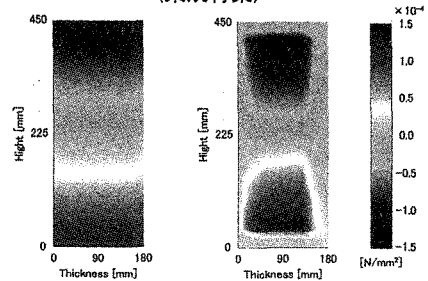


図-3 打撃点における曲げ応力応答曲線

(集成材梁)



i) $E'/E=1.0$ ii) $E'/E=0.1$

図-4 スパン中央断面曲げ応力分布図

(集成材梁、時刻 $t=4.88msec$)