

I - A188

離散的に配置された桁を有する補強床版の解析

ショーボンド建設㈱ 正会員 加藤 暢彦
大阪工業大学 正会員 堀川都志雄
大阪市立大学 正会員 園田恵一郎

1. まえがき

道路橋RC床版の補強工法として、①鋼板接着工法、②炭素繊維接着工法、③上面増厚工法等が挙げられる。ここで、①②は引張側に補強材が設置され、③は圧縮側コンクリートが増厚される。これらの工法のうち、例えば鋼板接着工法を力学的にみれば、支間部では最上層がRC床版で、中間層がエポキシ樹脂、最下層が鋼板からなる多層板と解釈できる。この際、桁近傍では負の曲げモーメント下にあるため、反対に鋼板が最上層に位置し、RC床版の下面の一部には主桁が接合されている構造系となる。すなわち、多層板と離散的に配置された桁とが合成される問題を解析することが必要になる。

本研究では、厚板理論による多層板解析に桁構造を考慮することを可能にする手法を提案し、さらに、応用例として前述の3つの工法を適用したRC床版の桁近傍の応力を比較・検討する。

2. 提案する桁付き多層板の解析手法

全周単純支持された多層板は、2つの変位関数を用いて解析することが可能である¹⁾。k層からなる多層板の第i-1層と第i層の接合面に作用する力を $X_{i-1}^m = \{X_{i-1}^m, Y_{i-1}^m, Z_{i-1}^m\}^T$ (i=1, k)とし、この接合面での変位の連続条件を式(1)に示した。ここで、 X_{i-1}^m は力 X_{i-1} のフーリエ係数である。板の全ての位置において連続

$$\sum_n [a_{i-2,i-2} \cdot X_{i-2}^m + a_{i-2,i-1} \cdot X_{i-1}^m + a_{i-1,i} \cdot X_i^m] \cdot \sin \alpha_m x \cdot \sin \beta_n y = 0 \quad \dots\dots (1)$$

$$\begin{bmatrix} a_{00} & a_{01} & \cdots & a_{0k} \\ a_{10} & a_{11} & \cdots & a_{1k} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{k0} & a_{k1} & \cdots & a_{kk} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_0^m \\ X_1^m \\ \vdots \\ X_k^m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix} \quad \dots\dots (2)$$

していると仮定すれば、xとyに関して調和解析が可能になり、フーリエ級数の各項(m,n)ごとに調和解析を適用すれば、式(2)が得られる。多層板の最上面と最下面の応力条件から各接合面に働く力 X_i^m が得られるので、各層の応力と変位が求められる。

今、多層板の最下面にr本の桁が合成されている構造系を考える(図-1)。桁はx方向(フーリエ級数の項:m)には連続しているが、y方向(項:n)には離散的に配置されているとする。この場合は、項nに関する調和解析が困難である。以下に解析手法の概要を述べる。

- ①多層板の最上面に作用する外荷重 $X_k = (0, 0, p_0)$ による多層板の解は、式(2)より(m,n)ごとの調和解析から得られる。 $X_k = (0, 0, 0)$ より、桁jの位置($y=y_j$)におけるk層の最下面の変位 u_{kj}^0, w_{kj}^0 ($j=1, r$)を計算する。z方向変位 w_{kj}^0 について式(3)に示した。

$$w_{kj}^0 = \sum_m \sum_n [b_k \cdot X_{i-1}^m] \cdot \sin \alpha_m x \cdot \sin \beta_n y = \sum_n \left[\sum_m [b_k \cdot X_{i-1}^m] \cdot \sin \beta_n y_j \right] \cdot \sin \alpha_m x \quad \dots\dots (3)$$

- ②多層板と桁jとの間で伝達される力 X_{kj}, Y_{kj}, Z_{kj} のうち、桁jのフランジ幅が小さいため $Y_{kj} = 0$ とする。また、 X_{kj}, Z_{kj} はフランジ幅がy方向の桁スパンに比べて小さいためy方向に一樣であると仮定し、その力のx方向の分布の大きさをそれぞれ X_{kj}^0, Z_{kj}^0 とする。例えば、 Z_{kj} と Z_{kj}^0 の関係を式(4)に示した。

$$Z_{kj} = \sum_m Z_{kj}^0 \left[\sum_n \rho_j^0 \cdot \sin \beta_n y \right] \cdot \sin \alpha_m x \quad \dots\dots (4)$$

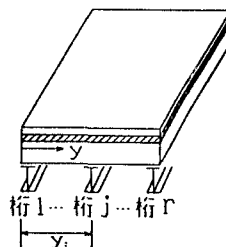


図 - 1

③多層板の最上面に作用する外荷重 $X_o=(0, 0, 0)$ 、最下面に作用する外荷重 $X_k=(X_{kj}, 0, Z_{kj})$ として、式(2)より、桁 j の位置($y=y_j$)における k 層の最下面の変位 u_{kj}, w_{kj} ($j=1, n$)を計算する。例えば、 z 方向の変位 w_{kj} を式(5)に示した。

$$w_{kj} = \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{m=1}^{\infty} [b_k \cdot X_{k1}^{nm} + c_k \cdot X_{k2}^{nm} \cdot \rho_j] \cdot \sin \alpha_m x \cdot \sin \beta_n y_j = \sum_{n=1}^{\infty} \left[\sum_{m=1}^{\infty} [b_k \cdot X_{k1}^{nm} + c_k \cdot X_{k2}^{nm} \cdot \rho_j] \cdot \sin \beta_n y_j \right] \cdot \sin \alpha_m x \quad \dots (5)$$

④多層板の最下面の変位と桁 j の上面での変位 u_{hj}, w_{hj} を等値とすることにより、多層板と桁 j との x 方向の力の大きさ X_{kj}, Z_{kj} が求められる。例えば、 z 方向の連続条件式は、 $w_{kj} + w_{hj} = w_{hj}$ で示される。

⑤再び、これらの大きさ $X_{kj} \cdot \rho_j$ と $Z_{kj} \cdot \rho_j$ を式(2)に代入して多層板解析を行い、多層板内の変位、応力、断面力の算出を行う。

すなわち、①③⑤の段階ではフーリエ級数の m, n に関して、また④では m のみに関して調和解析を採用することになる。

3. 数値計算例

主桁をはさんで対称に載荷される損傷RC床版に図-2に示した補強工法が採用される応力問題を取り上げる(図-3)。補強材料の力学的特性と諸元を表-1に示す。また、エポキシ樹脂のヤング率を $2.0 \times 10^4 \text{ kgf/cm}^2$ 、ポアソン比を0.4としている。RC床版は、版厚:18cm、上下かぶり:4cm、下側鉄筋:8-D19(@ 125mm)=22.92cm²、上側鉄筋:4-D19(@ 250mm)=11.46cm²の諸元を有している。損傷を受けたRC床版は、ヤング率 $14 \times 10^4 \text{ kgf/cm}^2$ とし、引張無視状態の床版と同じ性状を有する板に置換した。ポアソン比は0.2とした。また、桁の曲げ剛性EIは無限大とし、ハンチ高さを5cm、床版に作用する分散角度を45°としている。

表-1 補強材料の特性と諸元

補強工法	ヤング率 (10^4 kgf/cm^2)	ポアソン比	厚さ (mm)	接着層厚 (mm)
①	230	0.1	0.167	1.0
②	210	0.3	4.5	5.0
③	32	0.16	30	-

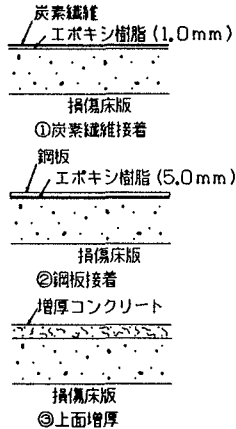


図-2 補強工法の概略図

表-2に計算結果を示した。補強材は上面に配置されており、桁上では引張側に、載荷点直下では圧縮側になる。床版の応力は圧縮側のみについて示している。増厚コンクリートにはひびわれは発生しておらず、全断面有効としている。いずれの工法も曲げ補強効果のあることがわかる。

参考文献：1)堀川都志雄：直交異方性厚板の弾性理論とその応用に関する研究，昭和59年5月

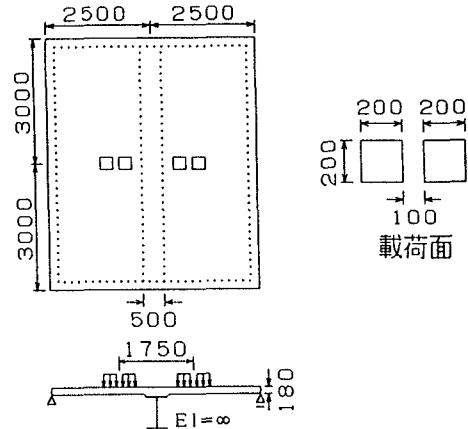


図-3 床版と桁の形状・寸法

表-2 補強工法によるたわみと鉄筋応力の比較

位置	補強工法	床版下面のたわみ (mm)	補強材の応力 (kgf/cm ²)	床版の圧縮応力 (kgf/cm ²)	主鉄筋応力 (kgf/cm ²)
桁上	①	0.00	624	-19	319
	②	0.00	180	-13	74
	③	0.00	33	-12	62
	無補強	0.00	-	-20	340
	①	0.68	-355	-19	330
載荷点直下	②	0.33	-134	-10	61
	③	0.30	-17	-10	64
	無補強	0.73	-	-20	356