

分布荷重が作用した合成曲面版の破壊メカニズム

日立造船 正会員○松野 進 港湾技研 正会員 横田 弘
同 上 正会員 岩田節雄 同 上 正会員 山田昌郎
同 上 正会員 安田和宏

1. はじめに

鋼板とコンクリートを組み合わせたオープンサンドイッチ型合成版は、水圧荷重に対して、曲面形状にする方が強度的に優れているために曲面 RC 版の研究などが行われたが、合成曲面版についてはほとんど研究が行われていない。本研究では、円筒形状の合成曲面版の破壊メカニズムを把握するための第 1 段階として、非線形 FEM 解析を実施した結果を報告するものである。

2. 解析モデル及び解析条件

解析モデルの合成版は、図 1 に示すように、鋼板にスタッドを介して鉄筋コンクリートパネルを結合させたもので、凸側に板厚 3.2mm の鋼板を配置した。解析モデルのサイズは、曲率半径 2.5m、板厚 150mm 及び支持スパン 1.7m を基本寸法とした。また、合成版(HB)と比較するために RC 版を追加した。RC 版の鉄筋比は合成版と同一にした。4 辺の境界条件は、ピン支持で凹側に等分荷重を作用させた。数値解析には、汎用ソフト LS-DYNA(Ver.940)を用いた。コンクリート要素は、均質等方性材料であると仮定した。コンクリートの引張り破壊は、コンクリートに作用する最大引張り応力が引張り破断強度に達するとクラックが生じる。

$$\text{Max}(\sigma_n) = f_t \quad (1)$$

ここで、 σ_n : 主応力, f_t : 引張り破断強度

コンクリートの圧壊条件は、主応力の和 J_1 及び偏差応力の二次の不変量 J_2 の関数として(2)式で与えられる。

$$f = \alpha J_1 + \sqrt{J_2} = k \quad (2)$$

ここで、 $J_1 = \sigma_{ij}$, $J_2 = S_{ij} S_{ij} / 2$, $S_{ij} = \sigma_{ij} - (J_1 / 3) \delta_{ij}$

鋼板及びスタッドの塑性化の判定は、ミーゼスの降伏条件を適用し(2)式において $\alpha = 0$ とした。

3. FEM 解析結果

図 3 に荷重とたわみの関係を示す。図 4～9 に終局強度近傍のコンクリート下面及び鋼板の最大主応力分布図を示す。応力分布は図 2 のモデルの 1/2 を示した。表 2 の破壊モードは、荷重-たわみ曲線の勾配が変化した各点における断面変形及び、ひび割れ状況を示した。

HBPC は、0.35MPa で曲げ応力によって、コンクリート下面に長辺方向のひび割れが分散し、1 次破壊モードに示すように曲げ変形によって剛性が低下した。さらに 0.6MPa では、曲げ変形によって崩壊した。

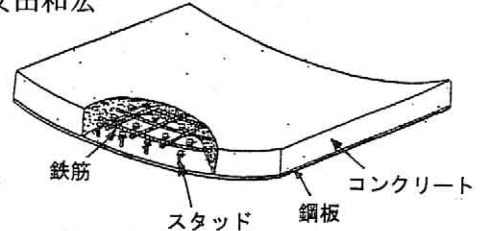


図 1 合成曲面版の基本構造

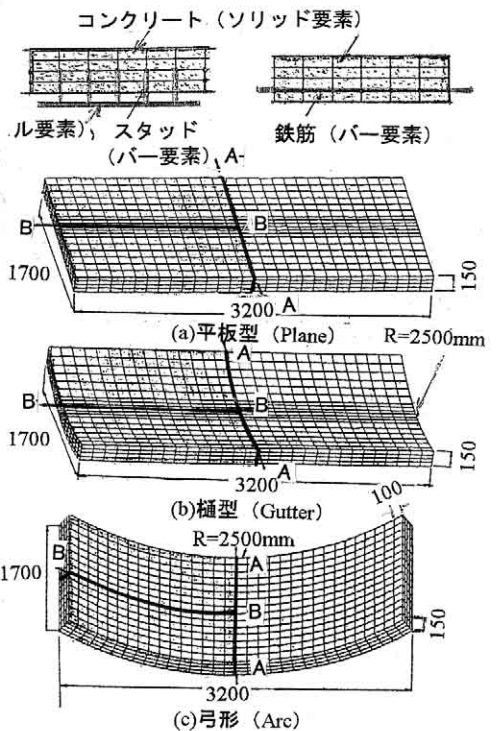


図 2 解析モデル形状

表 1 解析モデルと荷重方向

No.	名称	形式	荷重方向
1	HBPC	合成版 HB	凹側 C
2	HBGC		
3	HBAC		
4	RCPC		
5	RCGC	鉄筋コンクリート板 RC	
6	RCAC		

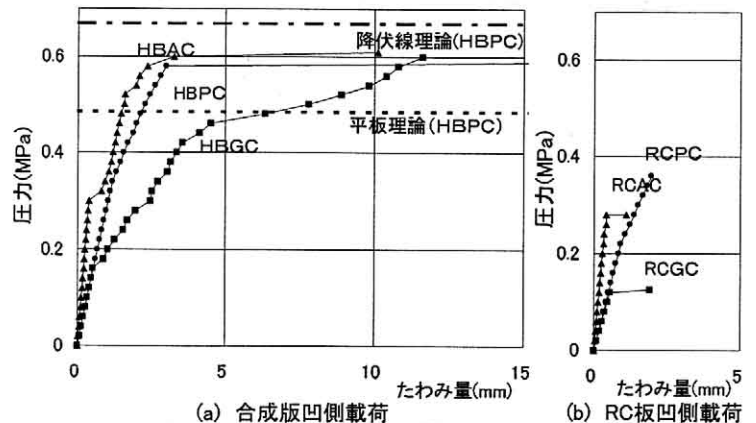


図 3 荷重とたわみの関係

キーワード：合成曲面版、弾塑性 FEM 解析、破壊メカニズム、分布荷重、円筒形状

このように HBPC は、破壊モードを変えることなく崩壊する。

RCPC は、0.20MPa で HBPC と同様に曲げ応力によってコンクリートにひび割れが発生し、1 次破壊モードに示すように、引張り鉄筋が局部変形することによって曲げ変形で屋根型崩壊に近い崩壊をした。

HBGC は、0.16MPa で円周方向の応力によって、コンクリート下面に母線方向のひび割れが円周方向に分散し、1 次破壊モードに示すように曲げ変形によって剛性が低下した。0.3MPa で 2 次破壊モードに示すように膜応力によって版が楕円放物曲面状に変形した。この場合、コンクリート及び鋼板が全体的に荷重を受け持つため、1 次破壊モードよりもたわみ剛性は大きくなる。さらに、0.43MPa になると、支点部の鋼板が、膜応力によって降伏するためたわみが急増し崩壊した。このように HBCG は、破壊モードを変えて崩壊し、靱性の大きい構造である。

RCGC は、0.13MPa で HBGC と同様に円周方向の応力によってコンクリートにひび割れが発生し、1 次破壊モードに示すように、引張り鉄筋が局部変形することによって曲げ変形で崩壊した。

HBAC は、0.3MPa で円周方向の応力によって、コンクリート下面全体に母線方向のひび割れが発生した。また版中央には、母線方向の応力によって円周方向にもひび割れが発生した。そのため版の変形状態は、1 次破壊モードに示すように膜応力によって全体的にたわむが、版中央で局部的なたわみが生じた。さらに 0.57MPa では、2 次破壊モードに示すように、版中央で母線方向の曲げ変形でたわみが急増して崩壊した。HBAC は、破壊モードを変えながら崩壊し、たわみ剛性の大きい構造であることが分かった。

RCAC は、0.29MPa で HBAC と同様に母線方向の曲げ応力によってコンクリートにひび割れが発生し、1 次破壊モードに示すように、引張り鉄筋が局部変形することによって曲げ変形で崩壊した。

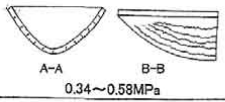
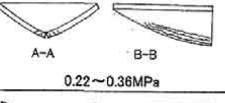
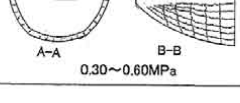
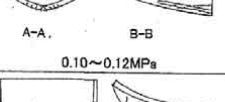
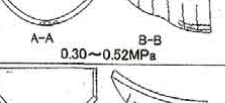
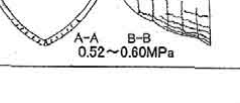
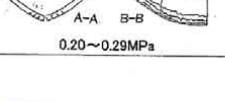
このように、RC 版では、曲げ応力によってコンクリートにひび割れが発生するとそのまま崩壊するのに対し、合成曲面版は、破壊モードを変えながら崩壊し靱性が大きいことが分かった。

4. まとめ

本解析で、分布荷重が作用する 4 辺支持合成版と RC 版を比較した結果、破壊挙動が異なり靱性が優れていることが分かった。

参考文献 1) 坪井善勝：曲面構造 シェルの理論とその応用

表2 破壊モード

	1次破壊モード	2次破壊モード
HBPC	 A-A B-B 0.34~0.58MPa	—
RCPC	 A-A B-B 0.22~0.36MPa	—
HBGC	 A-A B-B 0.16~0.30MPa	 A-A B-B 0.30~0.60MPa
RCGC	 A-A B-B 0.10~0.12MPa	—
HBAC	 A-A B-B 0.30~0.52MPa	 A-A B-B 0.52~0.60MPa
RCGC	 A-A B-B 0.20~0.29MPa	—

