

V-301 コンクリート製ドームの構造安定性について（その2：解析）

大成建設（株） 土木設計部 ○正員 岡本 剛治
東京ガス（株） 生産技術部 峯岸 孝二
（株）大林組 土木設計部 山下 博文
鹿島 土木設計本部 安永 正道

1. はじめに

コンクリート製ドームの構造安定性の照査方法の1つとして、非線形解析による方法がある。近年、数値解析は大型電子計算機の発達により、精度よく、迅速に計算することが可能となった。そこで、コンクリート製ドームの構造安定性について（その1）で実施した模型実験に対して、非線形解析を実施し、その妥当性を評価した。

2. 数値解析

2-1 解析方法および材料特性

数値解析としては、実験をシミュレーションするため、材料非線形性を考慮した幾何学的非線形解析（以後、非線形解析と記）を用いた3次元立体FEM解析を実施した。なお、使用プログラムとしては、汎用構造解析プログラムABAQUSを使用した。

材料の非線形性は、以下に示すコンクリートの構成則及び鉄筋の材料特性の5項目で定義した。①モルタルの一軸圧縮応力-ひずみ関係、②破壊曲面（二軸応力平面）、③引張硬化（鉄筋とコンクリートの相互作用）、④ひびわれ発生後のせん断剛性の低減、⑤鉄筋の応力-ひずみ関係。このうち、①及び⑤については、実験当日、供試体よりコア採取を行い設定した。なお、①は、実験終了後、クリープによる影響を考慮するため実験と載荷速度を一致させて設定した。

2-2 解析モデル及び荷重

解析モデルは、板厚方向に9個の積分点を有する薄肉シェル要素を用い、円周方向48分割、半径方向18分割とした。図-1に解析モデルを示す。

節点座標および部材厚は、実験供試体で形状寸法及び部材厚を測定し、決定した。さらに、実験供試体に配置された鉄筋をも考慮した。鉄筋は単軸剛性を有する等価な板厚の鋼層とした。なお、境界条件は端部で剛結とした。

荷重は、球心方向に等分布荷重を載荷した。

3. 解析結果と実験結果の比較

非線形解析と実験結果の比較の1例（ケース5）を図-2（ドーム頂部の荷重-変位）、図-3（ドーム頂部の荷重-ひずみ）に示す。なお、他の実験ケースについても同様の結果を得た。

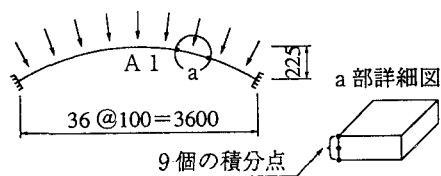


図-1 解析モデル

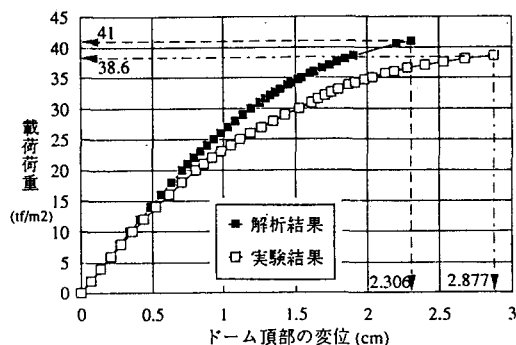
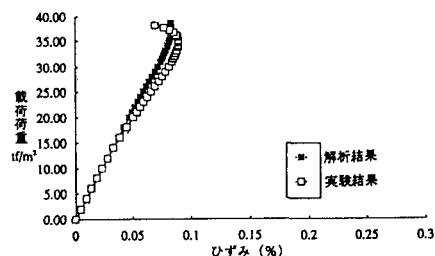


図-2 ドーム頂部のP-δ

荷重-ひずみ（頂部；A1上面）



荷重-ひずみ（頂部；A1下面）

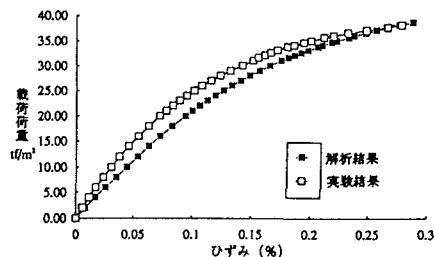


図-3 ドーム頂部のP-ε

4. 考察

4-1 破壊荷重

- (1) 破壊荷重は、実験ケース5の場合は、図-2より解析値=41.0 tf、実験値=38.6 tfであり、解析値/実験値=1.06とほぼ一致している。また、他の実験ケースについても、表-1に示すように、同様の精度で、解析は、破壊荷重を算定できる。
- (2) 変位、ひずみ等の性状は、図-2、3より、実験で測定された挙動を非線形解析により追跡できることが確認できた。
- (3) 破壊荷重に影響を及ぼす要因として、材料特性、部材厚、形状寸法(施工時不整)、境界条件等が考えられるが、なかでも部材厚が破壊荷重に及ぼす影響は大きく(部材厚の薄い実験ケース3、4)、部材厚の測定には高い精度が要求された。また、材料特性の設定は、モルタルの高応力下における短期クリープの影響も含まれると考えられる。

表-1 破壊荷重比較表

	部材厚 (cm)	破壊荷重 (tf/m ²)		$\frac{P_n}{P_e}$
		実験: P_e	解析: P_n	
ケース1	3.33	48.6	48.0	0.99
ケース2	5.50	38.3	38.9	1.02
ケース3	1.74	13.6	15.0	1.10
ケース4	1.89	19.5	21.0	1.08
ケース5	4.67	38.6	41.0	1.06

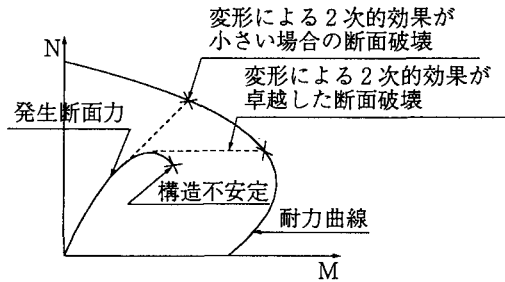


図-4 破壊性状の判定

4-2 破壊性状

- (1) 破壊性状は、非線形解析及び実験ともドーム頂部(中心)から破壊が生じた。
- (2) ドームの破壊性状は、その幾何学的非線形挙動により相違する。そこで、ドームの破壊性状を、図-4に示すように、部材が有する耐力(断面耐力: インタラクションカーブ)に対して発生断面力がどのような軌跡を描くかで判定することとした。
- (3) いずれのケースも変形による2次的効果が現れた断面破壊(1例としてケース5を図-5に示す。)であるが、ケース1、3、4については2次的効果の卓越した断面破壊(1例としてケース3を図-6に示す。)であると考えられる。

M-N曲線 (CASE-4)

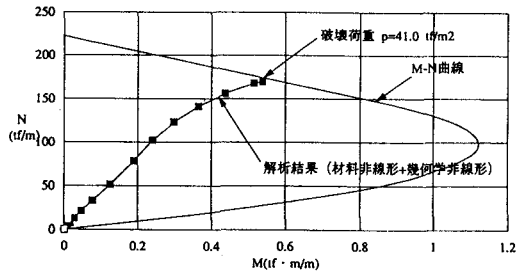


図-5 破壊性状 (ケース5)

5. まとめ

非線形解析を実施することにより、ドームの破壊荷重及び挙動を解析的に追跡できることがわかった。また、構造物の安定性を検討する上で、非線形解析を行い、破壊性状を評価することは有効な手段であると考えられる。

<謝辞>本研究は、東京ガス、大林組、鹿島建設、清水建設、三井建設、大成建設の6社の共同研究であり、本研究をご指導頂いた東京大学土木工学科岡村甫教授に対してここに謝意を表します。

M-N曲線 (CASE-3-1)

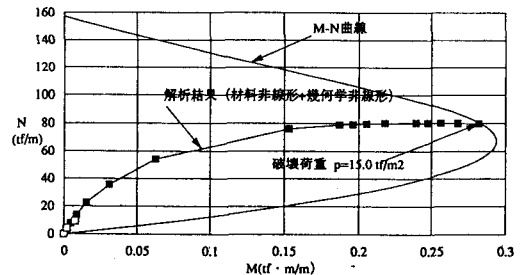


図-6 破壊性状 (ケース3)