

卵形消化槽側壁の地震時応力解析

九州共立大学 工学部 正員 小 坪 清 真
 九州工業大学 工学部 正員 高 西 照 彦
 九州工業大学 工学部 正員 ○多 田 浩

1. まえがき PC卵形消化槽側壁の応力解析を行う場合、通常、消化槽を軸対称シェル構造物とみなして、シェル要素を用いた有限要素法による解析がなされている。卵形消化槽(図-1)が外荷重を受けた場合、槽側壁とリング基礎との接合部において応力集中が生ずる可能性がある。この接合部においては、側壁の厚さが比較的厚く、それは必ずしも槽半径に比べて無視できるほど薄いとはいえないようである。本論ではまず、図-1に示すような卵形消化槽が種々の外荷重を受けた場合について、槽側壁を軸対称ソリッド要素から構成された構造物にモデル化した場合と軸対称シェル要素から構成された構造物にモデル化した場合のそれぞれに対して有限要素法による解析を行って槽側壁の断面力分布を求め、両者の結果を比較して、後者によるモデル化の妥当性について検討を加えた。さらに種々の外荷重に対する槽側壁の断面力分布曲線の特徴について論じた。

2. 有限要素法による解析 (i)軸対称シェル要素を用いた有限要素法解析については通常の解析方法に従った。各要素の座標系及び断面力の定義を図-2に示す。NとMはそれぞれ単位周長あるいは単位子午線長当りの軸力及びせん断力と曲げ及び捩りモーメントを表す。(ii)軸対称ソリッド要素を用いた有限要素解析においては、図-3に示すような8節点アイソパラメトリック要素を用いた。座標系は同図に示す通りである。計算によって得られた要素内の応力分布から(i)と比較すべき断面力N、Mを求めた。なお、リング基礎については(i)、(ii)のいずれの場合においてもこれをソリッド要素を用いてモデル化した。

3. 数値計算 解析の対称としたPC卵形消化槽を図-1に示した。容量は4000 m^3 である。外荷重は常時荷重として槽の自重、静水圧、動的荷重として自重にもとづく慣性力、内容液による衝撃圧(地震動の短周期成分に応答する動液圧)とスロッシング圧(地震動の長周期成分に応答する動液圧)の5種類を考えた。動液圧の最大値とその分布形は、前論⁽¹⁾で示した卵形消化槽の地震応答結果を参考にして図-4に示すものを採用した。なおこのときのリング基礎における最大応答加速度は350Galであった。上記の2種類の動液圧については、それぞれ図-4に示す最大液圧を槽内壁に静的に加えることによって、槽側壁の断面力を算出した。計算で採用した諸定数は槽壁の縦弾性係数 $3.185 \times 10^{10} \text{N/m}^2$ 、ポアソン比0.167、密度 2.5t/m^3 、内容液の密度 1.05t/m^3 、水深26.8mである。要素数についてはシェル要素解析では子午線に沿って58、ソリッド要素解析では子午線断面に沿って25の要素をそれぞれ採用した。リング基礎については両解析に共通にこれを8個のソリッド要素で表した。数値計算はリング基礎底面固定の場合について行った。

4. 計算結果及び考察 数値計算によって得られた結果の一例を図-5、6に示す。図-5は外荷重として内容液による衝撃圧が加わった場合に対するソリッド要素解析とシェル要素解析の結果を比較したものである。図から槽側壁の変位及び断面力の分布形は両者でよく一致していることがわかる。その絶対値の最大値については、変位において約3%、円周方向軸力N_θにおいて約5%だけいづれもシェル要素解析の場合の方が大きくなっている。ここでは示さなかったが、このことは他の外荷重が作用した場合についてもいえることであり、本計算例については卵形消化槽が静的及び動的な外荷重を受けた場合の槽側壁の変位及び断面力はシェル要素解析の方がソリッド要素解析に比べて一般に大きな値が得られるといえる。図-6は外荷重として静水圧、槽の自重、自重にもとづく慣性力、内容液による衝撃圧、スロッシング圧がそれぞれ作用したときの槽側壁の変位及び各断面力の分布を、シェル要素解析によって求めた結果を示したものである。同図から、静水圧及び衝撃圧による側壁の変位及び断面力が他の外荷重によるそれらと比べて大きいことがわかる。静水圧に対しては円周方向の軸力N_θが大きく、その最大値はリング基礎との接合部より少し上で生じている。また、リング基礎より下の底版の部分にもかなり大きなN_θ及びN_rが生じている。これはこの部分に大きな静水圧が作用して

いることと符合している。衝撃圧に対しては側壁の変位が比較的大きいこと、また子午線方向の軸力 N_s がリング基礎との接合部で最大値をとること等がわかる。曲げモーメントについては、いずれも円周方向のそれの方が子午線方向のそれより大きく、これらもリング基礎との接合部で最大となっている。動的荷重は時刻によってその位相が変わるので、それに従って槽側壁の変位及び断面力もその符号が変化することになる。応力集中が生ずる槽側壁とリング基礎との接合部については上記のことを考慮して卵形消化槽の設計を行う必要があると思われる。

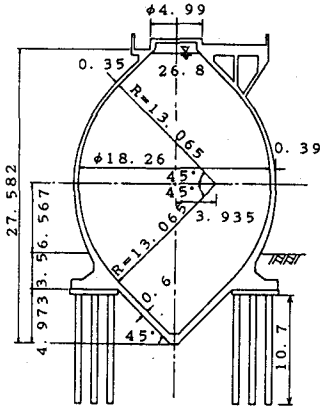
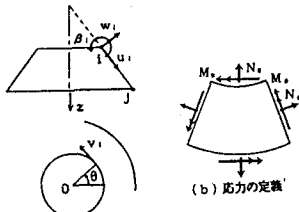
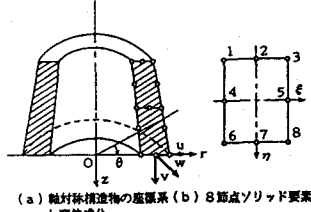


図-1 PC卵形消化槽



(a) 要素座標系と変位成分
図-2 シェル要素解析



(a) 軸対称構造物の座標系 (b) 8節点ソリッド要素と変位成分
図-3 ソリッド要素解析

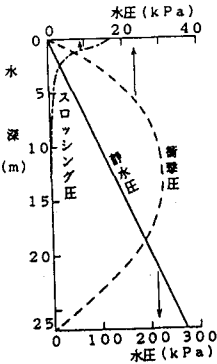


図-4 槽内壁に作用する静水圧及び動水圧

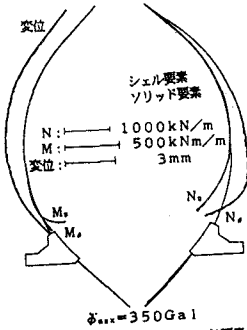
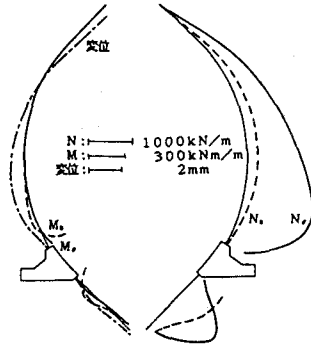
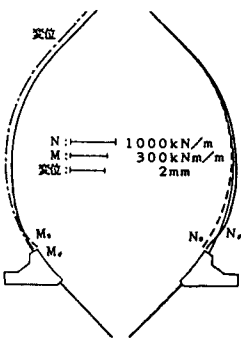


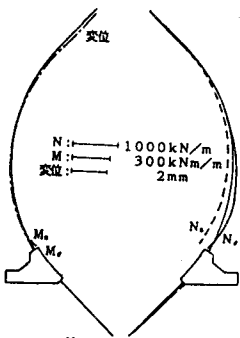
図-5 シェル要素解析とソリッド要素解析の比較 (衝撃圧の場合)



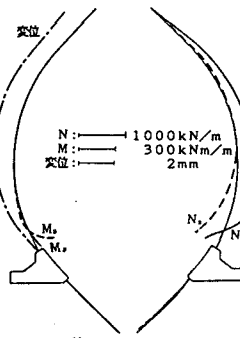
(a) 静水圧の場合 ($\rho = 1.05 \text{ t/m}^3$)
図-6 シェル要素解析



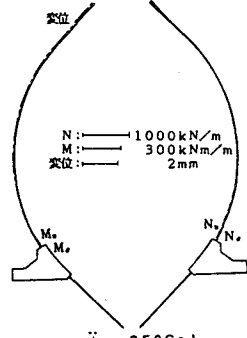
(b) 自重の場合 ($\rho = 2.5 \text{ t/m}^3$)
図-6 シェル要素解析



(c) 慣性力の場合
図-6 シェル要素解析



(d) 衝撃圧の場合
図-6 シェル要素解析



(e) スロッシング圧の場合
図-6 シェル要素解析

(1) 小坪他：卵形消化槽の地震応答解析法、土木学会西部支部研究発表会講演概要集、1987.3.