

立命館大学理工学研究科 学生会員 ○吉田 貴彦

立命館大学理工学部 学生会員 松下 泰之

丸栄コンクリート工業株式会社 フェロー 井上 幸一

立命館大学 フェロー 岡本 享久

1. 目的

本研究ではコンクリート製品の「設計方法」に着目した。現在、多くの製品メーカーは「許容応力度設計法」に基づき製品設計を行っている。現在、設計の基本となっている「限界状態設計法」では安全性への考え方は合理的であるが、検討すべき安全係数が多く同時に組み合わせが煩雑である理由から採用されていない場合が多い。そこで本研究は、製品設計に限界状態設計法の適用と安全性を知る目的で「集水枡」を対象に3次元 FEM 解析と載荷試験と比較検討した。

2. 研究フロー

3次元 FEM 解析により代表的なコンクリート製品の構造解析を行い実験結果と比較し、解析精度を検討した。その上で現実の設計法(許容応力度設計法, 限界状態設計法)の安全性について論議した。対象とした製品は「集水枡(560*560*680)」であり、需要の多さ、複合的な外力の作用、複雑な構造からなる理由による。研究では、集水枡に関し、①載荷実験と三次元有限要素解析の結果の比較し、解析精度の評価を実施。②許容応力度法で照査した集水枡を限界状態設計法でも評価。③集水枡の部材厚を低減した場合について解析し、限界状態設計法での安全性評価を行う。

3. 載荷試験結果と FEM 解析結果の精度比較

(1) 載荷実験

表-1 コンクリートの物性条件

載荷試験結果と3次元 FEM 解析精度に関する検討では、集水枡に「輪荷重のみ」が作用する場合と「土圧のみ」が作用する場合の2条件で比較した。図1では輪荷重のみが作用する場合であり、載荷試験でも同様な荷重作用下で輪荷重を徐々に増加させ、道路橋示方書からの最大 50kN まで載荷した。図2では土圧のみが作用する場合であり、集水枡への土圧作用の重心位置に「静止土圧と載荷重土圧」に相当する 3.6kN を作用させた。なお、表-1は対象とした集水枡の物性値を示す。

ヤング係数 E	24530	N/mm ²
引張強度 f_t	2.62	N/mm ²
圧縮強度 f_c	30.4	N/mm ²
ポアソン比 μ	0.2	
破壊エネルギー G_F	8.3×10^{-5}	MN/m
最大骨材寸法 d_{max}	20	mm
単位体積重量	2.3×10^{-2}	MN/m ³

(2) FEM 解析

3次元有限要素解析ソフトは ATENA である。「集水枡」をモデル化し現実に作用している荷重と同一の条件(図1及び2参照)および材料物性値の条件で解析を実施した。供試体上面に荷重を伝える載荷板は鋼材でモデル化しているため、載荷板とコンクリートの接合面の摩擦を定義し、支持条件はローラー支持とした。載荷方法は荷重制御とし、各解析ステップにおける要所のひずみデータを採取した。なお、ひずみのモニタリング位置は実験で最も大きな応力集中が見られた箇所(図3及び4の赤丸箇所)である。

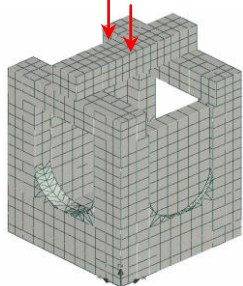


図-1 輪荷重・載荷モデル

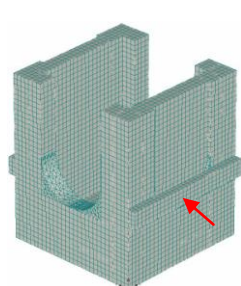


図-2 土圧・載荷モデル

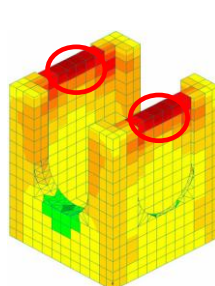


図-3 輪荷重・解析結果

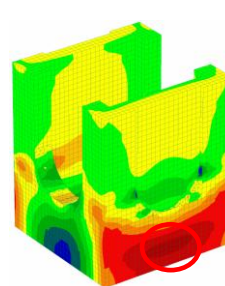


図-4 土圧・解析結果

(3) 実験結果と解析結果の比較

実験と解析による「荷重とひずみ値」を、輪荷重下及び土圧下についてそれぞれ図-5 及び図 6 に示す。解析で最も大きなひずみ値が発生した箇所である未開口部(図 3 の赤丸箇所)を比較したところ、 $\text{Test/Cal}=1.02$ であった。また土圧作用時でも輪荷重と同様に、最も大きなひずみ値の出た箇所(図 4 赤丸箇所)を比較したところ、 $\text{Test/Cal}=0.84$ であった。以上のことから、3 次元 FEM 解析によって部材の破壊挙動をほぼ定量的に再現できると思われた。

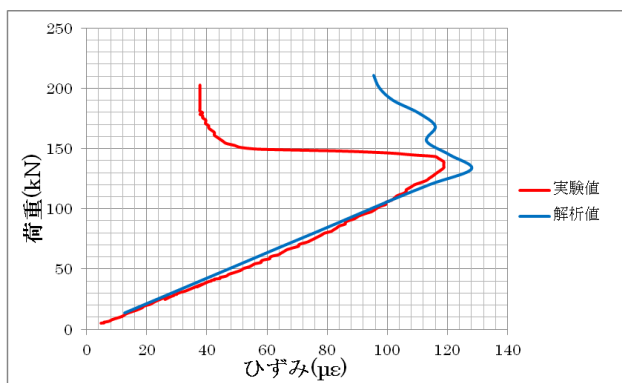


図-5 実験と解析結果(輪荷重)

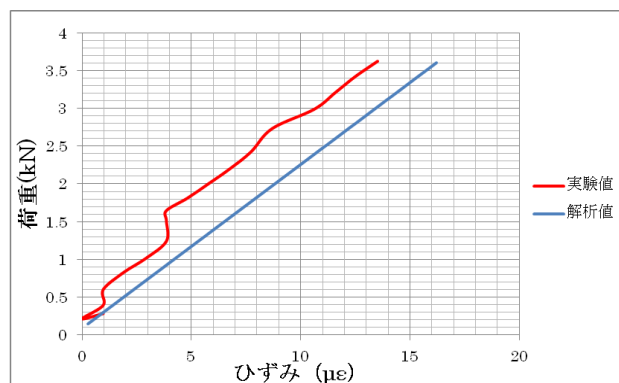


図-6 実験と解析結果(土圧)

4. 輪荷重と土圧が作用する外力条件下での集水桝の FEM 解析

(1) 解析

集水桝に「静止土圧と載荷重土圧」と「輪荷重」が同時に作用している現実の集水桝の FEM 解析を実施した。土圧など横荷重は側面の鋼製載荷板を介して水平方向に一定とし、その上で輪荷重を漸増的に作用させた。また限界状態設計法で模擬するために荷重係数 γ_f は 1.2 とし、 $50\text{kN} \times 1.2 = 60\text{kN}$ まで載荷した。その結果が図-7 であり、土圧による横荷重により開口部 U 字状上縁部に圧縮応力度が作用するが輪荷重によって生じる引張応力度と相殺された。主引張応力度は最大でも 0.66N/mm^2 であり、このコンクリートの引張強度 $f_t = 2.62\text{N/mm}^2$ を限界状態設計法で設定した安全係数で除すと、 $R_d = 1.75$ となり $\gamma_f \cdot S_d / R_d = 0.45$ となり、安全である。

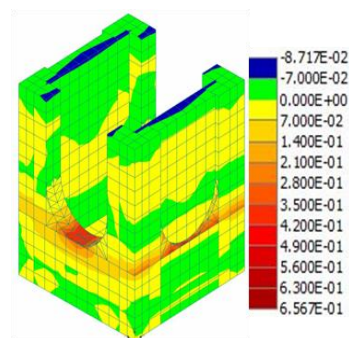


図-7 土圧+輪荷重による主応力分布

(2) 合理的な設計法の提案

上述の(1)と同一の載荷条件下において集水桝の構造設計に関し部材厚を減少させ、軽量・合理化を図った。具体的には、未開口部の壁厚を 60mm から 30mm 減少させ、同時に底板の厚さも 80mm から 50mm 減少させて解析を行い、その結果を図-8 に示す。図-7 と比較すると、最大主応力度は 1.03N/mm^2 と大きくなっているものの、上述の(1)と同様に引張強度を下回っている。作用する最大引張応力度はコンクリート引張強度の 39%ほどで安全と判断された。以上のことから、限界状態設計の評価では、 $\gamma_f \cdot S_d / R_d = 0.7$ となり、安全と考えられた。

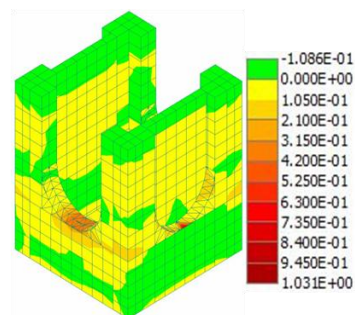


図-8 部材厚減少時での主応力分布

5. 結論

「集水桝」への載荷実験と 3 次元 FEM 解析の比較検討より得た結論は以下のとおりである。

- (1) 現実の荷重条件を想定した載荷実験結果を FEM 解析は忠実に再現できた。すなわち、現実の供用に基づく「水平土圧」および「輪荷重」に注目して載荷試験した集水桝に生じる最大主応力度の値とその箇所を FEM は高精度に推定できた。
- (2) FEM 解析からコンクリート製品設計への許容応力度法と限界状態設計法の安全性はほぼ同一であった。