

## 2次元 FEM に基づく高耐圧ポリエチレン管の空港基本施設舗装下への適用性検討 (第 2 報)

タキロンシーアイシビル(株)

丸吉 克典

渡邊 若臣

(株)クレアテック

後藤 有志

### 1. はじめに

本稿では、空港基本施設舗装下にスリム化溝型断面で埋設されたハウエル管の挙動、および、第 22 回空港技術報告会で課題となった偏心荷重の影響を調べ、呼び径・載荷範囲・偏心量をパラメータとし網羅的な 2 次元 FEM 解析による航空機荷重に対する耐荷性能の検討結果を第 2 報として報告する。

これまで、空港基本施設舗装下の排水管(埋設管)として、剛性管の遠心力鉄筋コンクリート管(JIS A 5303)や、施工性・耐食性に優れた可とう性管の強化プラスチック複合管(JIS A 5350)が主として用いられてきた。空港基本施設舗装下に埋設される可とう性管に求められる性能としては、軽量を活かした施工性はもちろんのこと、一般用途に比べて大きな地中応力が作用することから、管の耐久性(耐荷重)に加え、管の過度の変形により舗装へ悪影響を及ぼさないことが要求される。

これらの要求性能を満足する新たな管材として、道路下のカルバート工(高盛土)、震災・災害復旧および管更生など、インフラ整備に用いられている高耐圧ポリエチレン管(JIS K 6780 以下：ハウエル管と称す)が挙げられる。ハウエル管は、2007 年に(独)港湾空港技術研究所により行われた「実物大の空港施設を用いた液状化実験」に滑走路下の排水管として参画し、液状化時の埋設管挙動および耐震性が確認されているが、空港基本施設直下におけるハウエル管の採用実績が無いのが現状である。

ハウエル管の更なる適用拡大を目的に昨年開催された第 22 回空港技術報告会では、空港基本施設舗装下に埋設されたハウエル管の挙動を以下の 2 ステップで検証・適用性に対する考察を行った。

ステップ 1 ⇒ 埋設断面モデルに航空機荷重に相当する鉛直荷重を載荷させ、2 次元 FEM 解析と道路土工カルバート工指針との結果比較およびハウエル管の適用性を検証。

ステップ 2 ⇒ 既往のハウエル管の埋設挙動調査結果と埋設挙動調査を復元した 2 次元 FEM 解析の結果を比較することで、ステップ 1 の結果が妥当であることを検証。

考察の結果、2 次元 FEM 解析は道路土工カルバート工指針に比べ、管に生じる引張応力とたわみ率が小さいことから、要求性能を満足するという視点で設計時のコスト縮減が可能な解析手法であることが得られた。そこで、更なるコスト縮減方法の一つとして、従来の施工標準溝型断面に対して管の標準的な溝型の掘削幅をスリム化したスリム化溝型断面を提案するため、2 次元 FEM 解析を行った。

### 2. ハウエル管の概要と特長

ハウエル管は、1958 年にドイツで開発され、1988 年からは日本国内でも製造されている。管の形状は、独自の中空リブ構造の異形壁をもったスパイラルワインディング成形法により製造され、主原料は耐薬品性、耐腐食性、耐摩耗性、耐震性(耐衝撃性)、軽量性などの材料特性を有した高密度ポリエチレン樹脂である。呼び径は 300~3000mm までと幅広いラインナップがあり、管の種類としては直管用の R 形(図 2-1)と主に部材用として使用される F 形(図 2-2)に大別される。

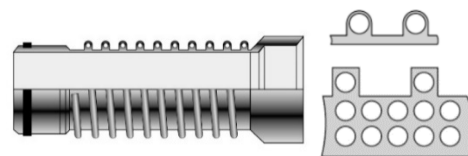


図 2-1 R 形の管形状と管壁構造例

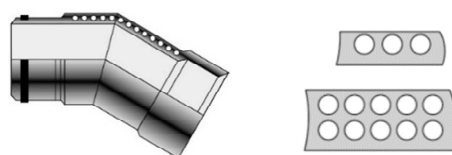


図 2-2 F 形の管形状と管壁構造例



(3) 2次元 FEM 解析の解析条件

2次元 FEM 解析の検討モデルは、前項のカルバート工指針と同じ埋設条件および鉛直荷重とした。すなわち、鉛直荷重として、土圧と航空機荷重を考慮した 275kN/m<sup>2</sup>をハウエル管の直上に載荷した。(図 3-2、表 3-3、図 3-3)。2次元 FEM 解析の仕様を表 3-4、物性値を表 3-5、表 3-6 に示す。

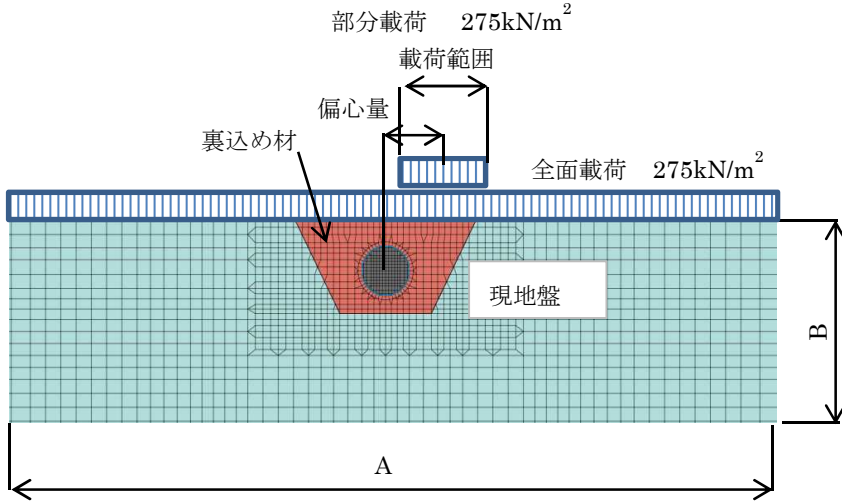


図 3-2 2次元 FEM 解析モデル図(全体)

表 3-3 解析モデル寸法(mm)

呼び径	A	B
600	12,000	4,174
1,000	20,000	6,734
2,000	40,000	12,852

表 3-4 2次元 FEM 解析仕様

項目	仕様
名称	GTS NX(Ver.320) マイダス社製
構成式	弾性
境界条件	底面 XY 方向固定 側面 X 方向固定

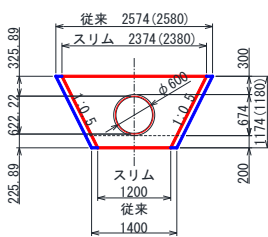
表 3-5 ハウエル管解析物性値

呼び径 (mm)	要素	板厚 (換算肉厚) t (m)	単位体積重量 (kN/m <sup>3</sup> )	弾性係数 E (kN/m <sup>2</sup> )	断面二次モーメント I (m <sup>4</sup> /m)	断面積 A (m <sup>2</sup> /m)
600	梁	0.02228	-	980,000	9.216E-07	0.02228
1,000	梁	0.03714	-	980,000	4.269E-06	0.03714
2,000	梁	0.07428	-	980,000	3.415E-05	0.07428

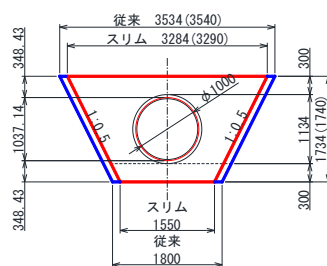
表 3-6 地盤解析物性値

	要素	単位体積重量 (kN/m <sup>3</sup> )	弾性係数 E (kN/m <sup>2</sup> )	ポアソン比 $\nu$
	現地盤	-	100,000	0.35
	裏込め材	-	14,700	0.30

φ600 (R30) 解析断面図



φ1000 (R30) 解析断面図



φ2000 (R30) 解析断面図

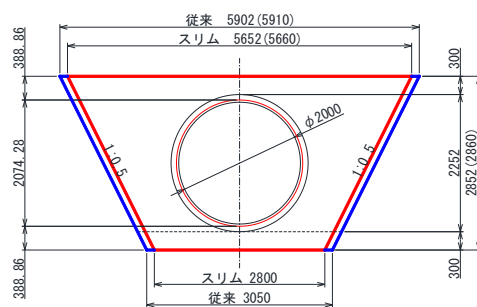


図 3-3 スリム化溝型断面 2次元 FEM 解析モデル図(裏込め材)と従来溝型断

図3-3に示す裏込め材の施工断面は締固め機械寸法を考慮し、スリム化溝型断面で解析を行った。ハウエル管をモデル化している梁要素の厚さは、メッシュ上では0になる。したがって、メッシュの見た目では、空洞と裏込め範囲だけとなる。この空洞の径は、「管の内径+換算管厚」としている。表3-7に荷重解析の組合せを示す。解析は、解析モデル全体に等分布荷重を載荷する全面載荷および載荷範囲と偏心量をパラメータとして変化させた部分載荷を行い、各呼び径で載荷範囲と偏心量の影響を検討する。載荷範囲と偏心量は「管の内径+換算管厚」に対する比率で表す。

表3-7 荷重解析の組合せ

呼び径 (mm)	等分布荷重 p (kN/m <sup>2</sup> )	載荷範囲 (D)	偏心量 (D)
600	275	0.25 ~ 1.75	0 ~ 1
1,000	275	0.25 ~ 1.75	0 ~ 0.75
2,000	275	0.25 ~ 1.75	0 ~ 0.75

#### (4) 検討結果比較および適用性の検証

##### ①ハウエル管に生じる応力の比較

ハウエル管に発生する応力について2次元FEM解析により得られた値を図4-1および表4-1、図4-2にそれぞれ示す。全面載荷の場合、引張応力は解析したすべての呼び径について発生していない。最大引張応力が発生する条件は偏心量0Dの場合である。最大引張応力はφ600の場合載荷範囲1D、偏心量0Dで2.65MPa、φ1000の場合載荷範囲0.75D、偏心量0Dで3.32MPa、φ2000の場合載荷範囲0.5D、偏心量0Dで4.74MPaとなった。全て許容応力である16.2MPa以下であった。

表4-1 解析結果まとめ 引張応力(MPa)

		呼び径・載荷範囲		
		φ 600 1D	φ 1000 0.75D	φ 2000 0.5D
偏心量 (D)	0.000	2.65	3.32	4.74
	0.125	2.56	3.27	4.65
	0.250	2.54	3.11	4.28
	0.375	2.48	2.97	3.68
	0.500	2.26	2.71	2.92
	0.625	2.13	-	-
	0.750	1.89	1.94	1.65
全面載荷		-0.63(圧縮)	-0.65(圧縮)	-0.42(圧縮)

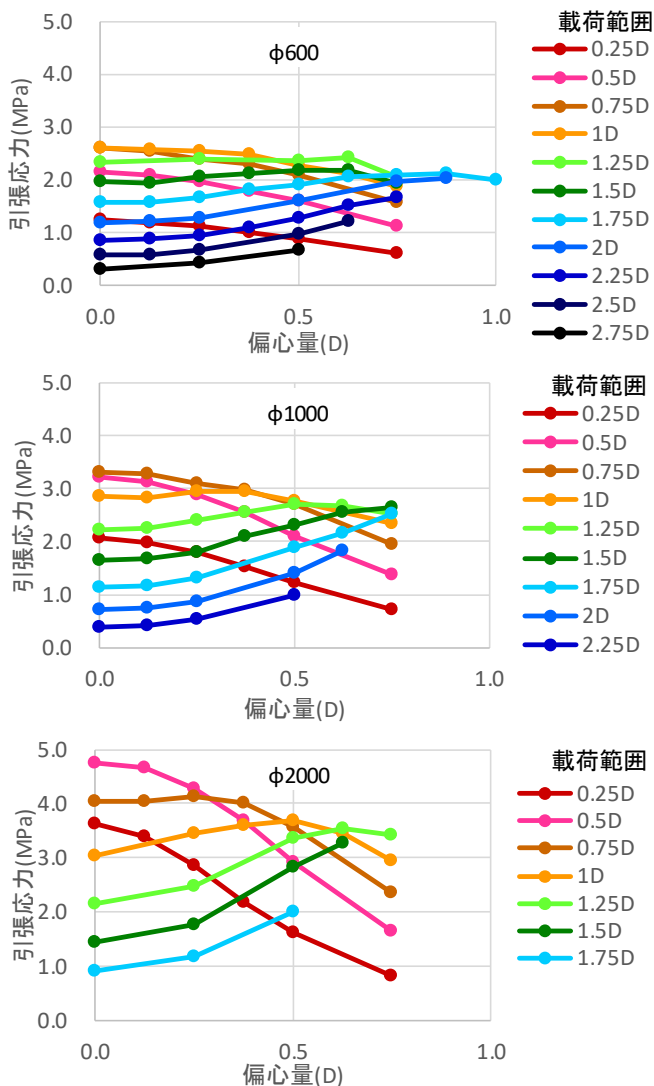


図4-1 解析結果一覧(引張応力)

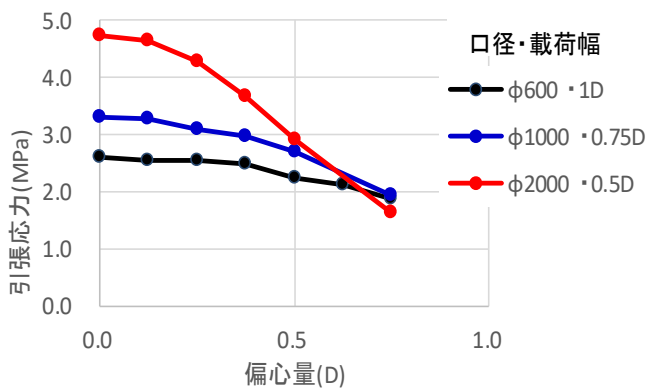


図4-2 解析結果まとめ(引張応力)

## ②ハウエル管の鉛直たわみ率の比較

ハウエル管に発生する応力について2次元FEM解析により得られた値を図4-3および表4-2、図4-4にそれぞれ示す。

解析を行ったすべての呼び径・载荷範囲において最大たわみ率が発生する条件は偏心量0Dの場合であり、偏心量が増加するとたわみ率は減少する。

最大たわみ率はφ600の場合载荷範囲2.25D 偏心量0Dで1.93%、φ1000の場合载荷範囲1.75D 偏心量0Dで1.90%、φ2000の場合载荷範囲1.25D 偏心量0Dで1.95%となった。全て許容たわみ率である5%以下であった。

解析結果をまとめると、スリム化溝型断面で2次元FEM解析を行ったすべてのケースでcodeF航空機荷重・土被り1mを想定して設定した等分布荷重275kN/m<sup>2</sup>に対して、引張応力とたわみ率が許容値以下となった。

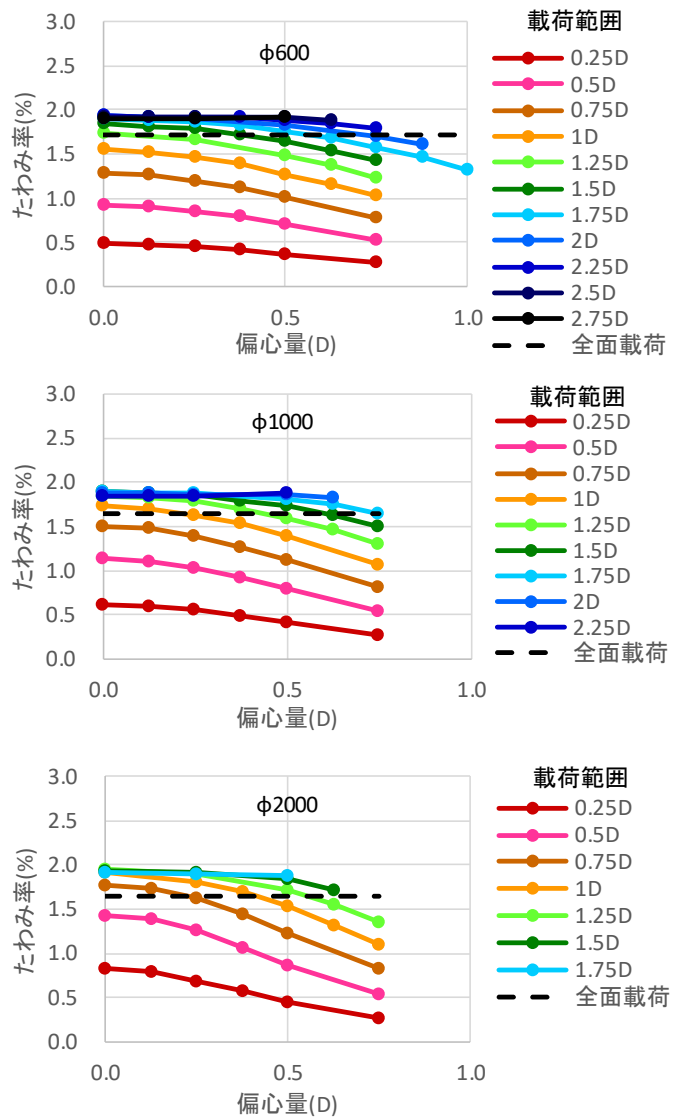


図4-3 解析結果一覧(たわみ率)

表4-2 解析結果まとめ たわみ率(%)

		呼び径・载荷範囲		
		φ 600 2.25D	φ 1000 1.75D	φ 2000 1.25D
偏心量 (D)	0.000	1.93	1.90	1.95
	0.125	1.93	1.88	-
	0.250	1.91	1.88	1.90
	0.375	1.91	-	-
	0.500	1.89	1.81	1.71
	0.625	1.84	1.75	1.56
	0.750	1.80	1.65	1.36
全面载荷		1.72	1.64	1.65

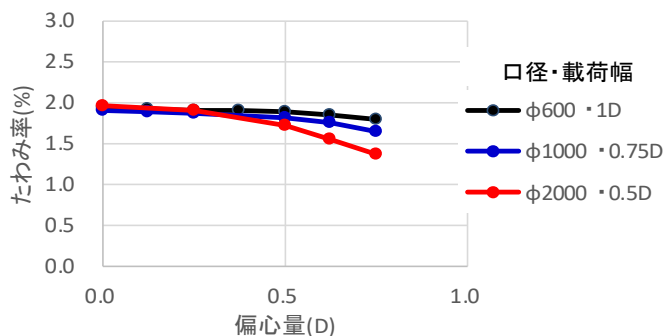


図4-4 解析結果まとめ(たわみ率)

### ③カルバート工指針による計算値と2次元FEM解析の比較

2次元FEM解析で最大引張応力が発生した、φ2000 荷重範囲 0.5D 偏心量 0D の条件においてカルバート工指針による設計値と2次元FEM解析の比較を行う。

表4-3、図4-5にカルバート工指針(全面載荷)の設計値と2次元FEM解析(スリム化溝型断面)の比較を示す。カルバート工指針による計算値と2次元FEM解析結果は、引張応力およびたわみ率が許容値以下である。また、2次元FEM解析結果は引張応力およびたわみ率がカルバート工指針による計算値よりも小さい。したがって、ハウエル管をスリム化溝型断面に適用可能と考える。

表4-3 カルバート工指針による計算値と2次元FEM解析の比較

呼び径	荷重条件	引張応力(MPa)		たわみ率(%)	
		カルバート工指針	2次元FEM解析	カルバート工指針	2次元FEM解析
φ600	部分載荷 偏心量 0D	-	2.65 (荷重範囲 1D)	-	1.93 (荷重範囲 2.25D)
	全面載荷	11.99	-0.63(圧縮)	3.02	1.72
φ1000	部分載荷 偏心量 0D	-	3.32 (荷重範囲 0.75D)	-	1.90 (荷重範囲 1.75D)
	全面載荷	11.98	-0.65(圧縮)	3.02	1.64
φ2000	部分載荷 偏心量 0D	-	4.74 (荷重範囲 0.5D)	-	1.95 (荷重範囲 1.25D)
	全面載荷	11.98	-0.42(圧縮)	3.02	1.65
許容値		16.2		5.00	

## 5. さいごに

空港基本施設舗装下に埋設されたハウエル管の挙動について検討した結果を以下に示す。

- ①codeF 航空機荷重・土被り 1m を想定した等分布荷重 275kN/m<sup>2</sup> に対して、カルバート工指針による計算値およびスリム化溝型断面での2次元FEM解析結果は、引張応力およびたわみ率が許容値以下である。
- ②最大引張応力が発生する条件は偏心量 0D の場合である。
- ③全面載荷の場合はハウエル管に引張応力が発生しない。

これらの結果より、ハウエル管にスリム化溝型断面を適用可能と考える。また、2次元FEM解析結果を活用することでさらに合理的な設計を行うことも可能と考えられる。

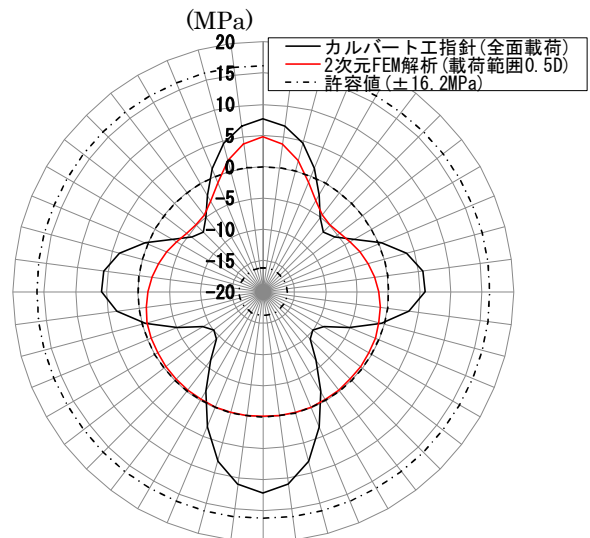


図4-5 引張応力分布の比較(φ2000)

## 参考文献

- 1) 空港土木施設設計要領(構造設計編、2019)、国土交通省航空局
- 2) 道路土工カルバート工指針(2010)、(公社)日本道路協会
- 3) 2次元FEMに基づく高耐圧ポリエチレン管の空港基本施設舗装下への適用性検討(第1報)(2021年)、国土交通省航空局