盈建科水池计算软件 YPool 有限元计算结果验证

——与 Midas 结果对比

郭峰

对于较复杂的水池结构来讲,一般的手算方式无法考虑结构的整体受力, 所以推荐采用软件进行整体有限元分析。受力复杂的结构采用有限元分析后, 结果是否正确合理有时还需要多软件的综合对比分析。下面结合一个实例工 程,采用盈建科水池设计软件 YPool 和 Midas gen 进行对比验证,证明了 YPool 的计算结果是正确合理的,并总结了两款软件在水池类结构计算结果对 比的一些注意事项,方便大家进行类似工程校核。

水池基本情况为:地下式整体钢筋混凝土多格矩形水池,平面尺寸 16m×8m,池高H=12.5m,池内设置内支撑梁两道,支撑梁截面 600x800mm,混凝土等级 C45。

YPool 软件模型如下,水池顶、底板和池壁之间按实际约束考虑,持力层 为岩石地基,底板基床系数取 1000000kn/m³,有限元网格按照 0.5m 进行划 分。





Midas gen 软件计算模型如下,参数与 YPool 保持一致。较为便捷的方式 是通过盈建科的转换接口进行模型的转换:





图 2 Midas gen 模型

一、池壁弯矩

池壁水平弯矩结果,对比池外水压力工况,选择下方纵墙进行查看(注意 两款软件默认的弯矩符号相反)。

YPool 软件计算结果云图如下(默认对应等值线结果中的 Mxx):



图 3 Ypool 池壁水平弯矩图

左侧弯矩最大值 325.2KN*M,跨中弯矩最大值-84.4 KN*M, 右侧弯矩最大值 192.5KN*M(数值选项勾选"最大值")。



图 4 YPool 池壁水平弯矩图 (左侧、跨中、右侧)

Midas gen 软件计算结果云图如下(默认对应等值线结果中的 Mxx):



图 5 Midas gen 池壁水平弯矩图

左侧弯矩最大值 326.7KN*M,右侧弯矩最大值 192.6KN*M(内力选项勾选 "单元"、数值选项勾选"最大值"),跨中弯矩最大值 84.3KN*M(内力选项勾选 "节点平均"、数值选项默认"最大值")。



图 6 Midas gen 池壁水平弯矩图 (左侧、跨中、右侧)

查看跨中弯矩和支座弯矩时在 Midas gen 中切换了内力选项,是因为两款 软件在输出单元内力时的处理方式有差异,具体差异在文末总结中详述。

池壁竖向弯矩结果,工况和池壁选取同水平弯矩。

YPool 软件计算结果云图如下(默认对应等值线结果中的 Myy):



图 7 YPool 池壁竖向弯矩图 (Myy)

底部弯矩最大值 402.0KN*M,跨中弯矩最大值-189.5 KN*M(数值选项勾选



图 8 YPool 池壁竖向弯矩图(底部、跨中)

Midas gen 软件计算结果云图如下(默认对应等值线结果中的 Myy):



图 9 Midas gen 池壁竖向弯矩图

底部弯矩最大值-402.1KN*M(内力选项勾选"单元"、数值选项勾选"最大 值"),跨中弯矩最大值188.7KN*M(内力选项勾选"节点平均"、数值选项默认 "最大值")。。



图 10 Midas gen 池壁竖向弯矩图(底部、跨中)

将以上池壁弯矩数据进行汇总对比,如下表,两款软件有限元计算内力值误差 值很小,结果非常接近。

池壁弯矩结果对比 (两款软件默认的弯矩符号相反)					
名称	Ypool 结果	Midas 结果	误差 (%)		
Mxx 左	325.2	-326.7	-0.46		
Mxx 中	-84.4	84.3	0.12		
Mxx 右	192.5	-192.6	-0.05		
Myy 中	189.5	-188.7	0.42		
Myy 下	-402	402.1	-0.02		

二、底板弯矩

底板弯矩分别对比池外水压力工况下的 Mxx 和 Myy。YPool 软件 Mxx 计算结果云图如下:





其中左侧弯矩最大值-115.6KN*M,跨中弯矩最大值 1.0KN*M, 右侧弯矩最

大值-92.3KN*M(数值选项勾选"最大值")。



图 12 YPool 底板弯矩 Mxx (左侧、跨中、右侧)

YPool 软件 Myy 计算结果云图如下:





其中上部弯矩最大值-134.4KN*M,跨中弯矩最大值 4.2 KN*M,下部弯矩最 大值-137.8KN*M(数值选项勾选"最大值")。





Midas gen 软件 Mxx 计算结果云图如下:



图 15 Midas gen 底板弯矩 Mxx

其中, 左侧弯矩最大值 114.8KN*M,跨中弯矩最大值-1.0KN*M, 右侧弯矩 最大值 91.0KN*M(内力选项勾选"节点平均"、数值选项默认"最大值"), 见下 图。





-1.2	-1.2	-1.2	-1.2
-1.0	-1.0	-1.0	-1.0
-1.3	-1.3	-1.3	-1.3

图 16 Midas gen 底板弯矩 Mxx (左侧、跨中、右侧)

Midas 软件 Myy 计算结果云图如下:

0.9 1.0 1.6 3.3 6.7 9.3 11.9 14.4 16.5 18.6 20.2 21.3 22.1 23.2 4.2 4. 6 4. 6 24.4 24.3 24.3 24.3 24.2 23.8 23.8 23.8 23.8 2.9 2.5 19.7 18.2 16.2 13.8 11.2 8.6 6.7	3-5.0 4.4 4.1 -3.9 -1.8 1.1 0.7 -0.7
0.9+5.6+6.917.823.230.438.646.754.260.665.569.673.975.577.278.579.580.380.580.580.479.878.977.275.473.970.165.659.752.844.736.227.920.	716.614.315.316.616.68.98.9-3.1
-1.5-8.1-8.1+17.829.951.672.891.7107.121.130.938.845.149.853355157.158.459.059.058.157.655.552.849.844.839.131.020.808.293.777.460.344.	721.419.115.316.627.827.813.75.7
-1.5 <mark>8.123.5</mark> 23.5 32.4 51.6 72.8 91.7 107.7 21.1 30.9 38.8 45.1 49.553 55.57 158.59 159 058.757 655 652 549 244.8 39.9 31.0 20.8 08.2 93.7 77.4 60.3 44	32.4.226.716.811.830.230.213.75.8
-1,4-7,242,442.4 32.446.4 61.4 75.7 88.4 99.3 108.0 15.0 20.624 £27 £80.231.583.233.6 33.6 33.4 32.4 30.6 28.0 25.0 21.517.2 11.403.794.0 82.0 68.6 54.8 42.	9 _{82.4} 16.813.433.53.513.65.8
1.6 5.360.060.0 21.3 24.3 29.0 34.2 39.4 44.2 48.351.654.356.558.259.460.160.660.860.860.860.860.359.458.457.355.854.152.049.745.840.734.428.222.	916.511.71.7 15.941.541.57.4-3.8
-2.5-8.677.077.0 21.314.311.3 11.0 12.213.615.016.217.118.018.619.119.419.519.619.619.619.619.419.218.918.618.318.018.218.217.615.913.711.3 8.6	6 6.5 8.111.818.349.849.86.5-1.9
4.712.01.91.9 23.1 11.4 5.2 -3.4 4.5 -5.0 -5.2 -5.4 -5.5 -5.6 -5.7 -5.8 -5.8 -5.9 -5.9 -5.9 -5.9 -5.8 -5.7 -5.6 -5.4 -5.2 -4.9 -4.4 -3.4 -3.2 -3.2 -4.9 -2.6 -2.4 -3.4 -3.4 -3.4 -3.4 -3.4 -3.4 -3.4 -3	6 4.1 6.711.820.257.57.58.0-2.3
6.615.104.04.025.7 12.1 3.4 -3.8 -4.9 -5.4 -5.6 -5.8 -5.9 -6.1 -6.2 -6.3 -6.4 -6.4 -6.4 -6.4 -6.3 -6.3 -6.1 -6.0 -5.7 -5.5 +5.2 -3.4 0.4 4 -3.8 -2.9 1.7 -7.	4-7.4 5.810.90.9
7.917.211.611.627.8 13.4 4.2 -3.8 4.9 5.4 5.6 5.8 5.9 6.1 6.2 6.3 6.3 6.4 6.4 6.4 6.4 6.3 6.3 6.1 6.0 5.7 5.5 5.2 4.7 4.3 5.7 -2.8 -1.2 8.	7-8.7 5.511.822.669.669.611.14.3
-8.718.216.816.329.0 14.2 5.1 -3.1 4 1 4 5 4 6 4 7 4 8 4 9 5 0 5 0 5 1 5 1 5 2 5 2 5 1 5 1 5 0 4 9 4 8 4 6 4 4 4 2 3.9 -3.6 -3.0 -2.2 1.2 -9.	2 -9.2 <u>5.2 12.5</u> 23.174.174.174.112.25.1
9.018.617.717.729.716.0 51 25 35 38 38 3 0 3 0 3 0 4 0 4 0 4 1 4 1 4 2 4 2 4 2 4 2 4 1 4 0 2 9 3 8 3 6 2 4 3 6	4 -9.4 5.2 12.623.677.177.113.05.7
9.018.617.117.29.76.0 41 45 45 45 45 45 45 45 45 55 55 55 55 55	9.9.95.212.624.278.678.43.56.1
-8.718.416.216.29.515.9 4.0 -3.1 -4.1 -4.3 -4.0 -4.7 -4.8 -4.9 -5.0 -5.1 -5.2 -5.3 -5.3 -5.2 -5.2 -5.2 -5.2 -5.2 -5.2 -5.2 -5.2	.111.14.012.224.478.678.43.56.1 .012.04.010. 2 3.0
7.917.511.911.928.313.514.61-3.714.91-5.41-5.01-5.8-6.01-6.11-6.2-6.41-6.41-6.51-6.01-6.01-6.01-6.51-6.51-6.51-6.41-6.21-6.01-5.81-5.51-5.51-5.51-5.51-5.51-5.51-5.5	.213.26.010.223.077.977.913.26.1
46.715.804.904.925.912.4 3.5 -3.7 -4.9 -5.4 -5.6 -5.8 -6.0 -6.1 -6.2 -6.4 -6.5 -6.6 -6.6 -6.6 -6.5 -6.5 -6.4 -6.2 -6.0 -5.8 -5.5 -5.2 -5.0 -4.8 -5.4 -8.2 -17	.317.37.210.222.274.674.612.45.6
4.812.32.992.923.3 11.6 5.5 3.3 4.4 4.9 5.2 5.4 5.5 5.6 5.7 5.8 5.9 5.9 6.0 6.0 6.0 6.0 5.9 5.8 5.6 5.4 5.2 5.0 6.0 6.0 6.0 6.0 5.9 5.8 5.6 5.4 5.2 5.0 6.0 6.0 6.0 6.0 5.9 5.8 5.6 5.4 5.2 5.0 6.0 6.0 6.0 6.0 5.9 5.8 5.6 5.4 5.2 5.0 6.0 6.0 6.0 5.9 5.8 5.6 5.4 5.2 5.0 6.0 6.0 6.0 5.9 5.8 5.6 5.4 5.2 5.0 6.0 6.0 5.9 5.8 5.6 5.4 5.2 5.0 6.0 5.9 5.8 5.6 5.4 5.2 5.0 5.9 5.8 5.6 5.4 5.2 5.0 5.9 5.8 5.6 5.4 5.2 5.0 5.9 5.8 5.6 5.4 5.2 5.0 5.9 5.8 5.6 5.4 5.2 5.0 5.9 5.8 5.6 5.4 5.2 5.0 5.9 5.8 5.6 5.4 5.2 5.0 5.9 5.8 5.6 5.4 5.2 5.0 5.9 5.8 5.6 5.4 5.2 5.0 5.9 5.8 5.6 5.4 5.2 5.0 5.0 5.9 5.8 5.6 5.4 5.2 5.0 5.0 5.9 5.8 5.6 5.4 5.2 5.0 5.0 5.2 5.0 5.0 5.9 5.8 5.9 5.9 5.9 5.0 5.0 5.0 5.0 5.0 5.2 5.0 5.0 5.2 5.0 5.0 5.2 5.0 5.0 5.2 5.0 5.0 5.2 5.0 5.0 5.2 5.0 5.0 5.2 5.0 5.0 5.2 5.0 5.0 5.2 5.0 5.0 5.2 5.0 5.0 5.2 5.0 5.0 5.2 5.0 5.0 5.2 5.0 5.0 5.2 5.0 5.0 5.2 5.0 5.0 5.2 5.0 5.0 5.2 5.0 5.0 5.2 5.0 5.0 5.2 5.0 5.0 5.0 5.2 5.0 5.2 5.0 5.0 5.2 5.0 5.2 5.0 5.2 5.0 5.2 5.0 5.2 5.0 5.2 5.0 5.2 5.0 5.2 5.0 5.2 5.0 5.2 5.0 5.2 5.0 5.2 5.0 5.2 5.0 5.2 5.0 5.2 5.0 5.2 5.0 5.2 5.0 5.2 5.2 5.0 5.2 5.0 5.2 5.0 5.2 5.0 5.2 5.0 5.2 5.2 5.0 5.2 5.0 5.2 5.0 5.2 5.2 5.0 5.2 5.2 5.0 5.2 5.2 5.2 5.0 5.2 5.2 5.2 5.2 5.2 5.2 5.2 5.2 5.2 5.2	315.36 9
-2.6-8.978.078.0 21.5 14.6 11.7 11.4 12.5 13.9 15.3 16.5 17.5 18.3 19.0 19.5 19.8 20.0 20.2 20.2 20.2 20.0 19.9 19.7 19.6 20.5 22.6 23.3 23.3 21.9 19.8 17.1 14	412.012.5
1.4 - 5.760.861.8 21.5 24.6 29.4 34.7 39.944.7 48.952.355.057.359.160.351.351.962.462.662.662.461.961.260.559.558.657.957.955.651.645.840.135.	125.822.3
2.0-8.242.942.912.2.746.561.676.088.9100.008.816.021.826.829.832.834.835.836.837.037.036.635.533.731.629.126.022.316.909.399.387.474.463.	052.86.10.5 19.7.31.831.85.7-1.4
21.9.323.427.552.246.561.676.088.9100.008.816.021.826.029.03242.235.836.837.037.836.835.833.031.029.126.022.316.909.387.474.4632	052.80-7 46.746.780.519.7-23.623.65.8-1.4
2.1-9.317.427.531.440.050.460.770.178.484.789.994.297.700.002333.104.305.105.405.405.204.503.201.89.797.092.286.378.970.160.249.831.	828.923.416.813.023.623.65.8-0.9
0.7 6.4 7.4 19.0 24.3 31.4 39.5 47.6 55.0 61.4 66.4 70.6 74.9 76.6 78.3 79.8 0.9 82.0 82.4 82.6 82.6 82.5 82.0 80.9 79.6 77.8 75.6 72.2 67.4 61.8 55.0 47.4 39.6 31.	825.819.614.711.38.7-3.6-3.60.8
0.8[1.1]1.7[-3.4]-6.9[-9.6+12.1]14.616.7[18.820.521.622.423.524.825.025.024.824.924.924.924.924.824.824.824.824.323.1]21.620.5[18.9]16.8[14.5]12.1]-9.	7+7.8+6.1+4.6+3.1+1.0 0.8 0.8 0.8

图 17 Midas gen 底板弯矩 Myy

其中,上部弯矩最大值 159.0KN*M,跨中弯矩最大值-4.2 KN*M,下部弯矩 最大值 137.0KN*M(内力选项勾选"节点平均"、数值选项默认"最大值")。

158.4	159.0	159.0	158.7	136.8	137.0	137.0	136.6
158.4	159.0	159.0	158.7	136.8	137.0	137.0	136.6

-5.2	-5.2	-5.1	-5.1
-4.2	-4.2	-4.2	-4.2
-5.3	-5.3	-5.3	-5.2

图 18 Midas gen 底板弯矩 Myy(上部、跨中、下部)

将以上底板弯矩数据讲行汇总对比。	如下表
	$\Lambda H = \Gamma V V V$

底板弯矩结果对比						
名称	Ypool 结果	Midas 结果	误差 (%)			
Mxx 左	-115.6	114.8	-0.70			
Mxx 中	1	-1	0.00			
Mxx 右	-92.3	91	-1.43			
Myy 上	-134.4	159	15.47			
Myy 中	4.2	-4.2	0.00			
Муу 下	-137.8	137	-0.58			

其中"Myy上"弯矩值 Ypool(-134.4KN*M)和 Midas gen(159.0KN*M) 有差异,主要原因是两软件取内力规则稍有不同。Ypool 是**构件内**单元节点内 力取平均,而 Midas gen 的"节点平均",是将节点处"**所有共用此节点的单元**"节 点内力取平均。举例来说,当底板有挑出时,底板与竖向池壁相接位置的单元 内力,Ypool 是取底板单元节点内力平均值,Midas gen 不仅考虑了底板,还考 虑了相连竖向池壁单元节点内力平均值(YPool 后续版本将加入该处理规 则),当起控制作用时则会表现为两个软件单元内力结果有差异。比如本例中 的 Myy 上部弯矩。

为了进一步验证内力值正确性,下面按照同一规则来手核对应的节点内力,即 Midas gen 按照 Ypool 目前的规则,只考虑底板节点内力。

手工复核方法如下:

先查看 Ypool"最大值"为-134.4 KN*M, 切换到"节点值", 四个节点内力分别为-42.6 KN*M、-42.4 KN*M、-134.4 KN*M和-134.2 KN*M, 如下图所示:



图 19 Ypool 单元内力、节点内力

对应 Midasgen 中的 1961 号单元,即下图红框单元,查看其四周节点号分别为 103、104、669 和 668,



图 20 Midasgen 单元内力、节点号

通过 Midas gen 的表格输出单元格内力。以 103 号节点为例,将此节点周 边共用单元中,隶属于底板的 1961、1962、2098 和 2099 四个单元对应的此节 点内力取平均,这样就和 Ypool 规则统一,可以得到节点平均内力为 42.3 KN*M,和 Ypool 的节点内力-42.6 KN*M 一致。其余节点类似。

2918	LC-15	102	391.263	
2919	LC-15	102	390 379	
1961	.C-15	103	237.955	42.3295
1962	.C-15	103	237.959	
2098	.C-15	103	-153.309	
2099	.C-15	103	-153.287	
2919	LC-15	103	392.45	
2920	LC-15	103	392.343	
1960	LC-15	104	237.434	
1001	0.45		007.000	

三、结论

从以上池壁、底板弯矩对比分析可知,两款软件计算的有限元节点结果基本一致,进一步验证了盈建科水池设计软件 Ypool 有限元计算的结果是合理可 靠的。

最后分享一下多软件工程对比的经验:

a) 保证模型一致性,包括模型构件、荷载、边界条件,网格划分 也尽量一致;

b) 需要熟悉不同软件内力输出规则,如局部坐标系、方向、是否 磨平、内力取值规则等。必要时对节点内力值进行手工校核。