

内部応力測定法である井型法についての一考

エム・エムブリッジ株式会社 正会員 ○工藤 祐琢
MHI パワーエンジニアリング株式会社 正会員 森 直樹

1. はじめに

構造物の内部応力を計測方法は、構造の一部を微破壊する方法と非破壊で行うものがある。非破壊試験法は既存構造を損傷させることなく測定できる点で優位であるが、専用機器が必要なことや測定の不確実性から破壊試験法がしばしば用いられる。ここで取り上げる井型法は破壊試験法の一つでひずみゲージの周囲を井型状に切断し応力を開放する方法である。本手法は運用が容易である一方で切断条件に明確な基準がないためにその決定に迷う場面が多い。そこでここではFEMを用いて切断幅と切断深さの関係及び鋼板厚の影響について検討し切断条件決定の一助とすることとした。

2. 井型法

井型法は測定する鋼板にひずみゲージを貼り付け周囲を井型状に直線的に切断するので一般的なグラインダーのみで施工可能であるため適用が容易である。開放条件は切断する幅と切断深さの比 (d/B) 及び板厚 t により決定され、切断幅が大きいくほど切り込み深さを大きくとらないと開放条件が得られないことが知られている。

切断加工量を少なくするためには切断幅 B はできるだけ小さくする必要があるがゲージ貼り付け領域を確保する必要があることからここでは $B=6\text{mm}$ として検討することとした。

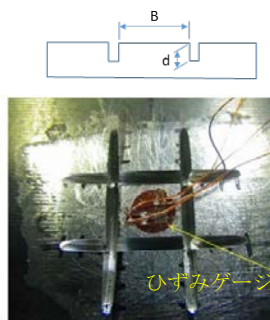


図-1 井型法

3. 解析モデル

解析モデルは $300\text{mm} \times 100\text{mm}$ で鋼板厚 $t=9\text{mm}, 12\text{mm}, 16\text{mm}$ の3モデルとし、端辺に 100N/mm^2 の単位応力を载荷させた1/4対称モデルとした。鋼板中央に井型切断幅 $B=6\text{mm}$ 、切断溝幅 1mm とした。切断深さは $d=0.5 \sim 4.5\text{mm}$ まで変化させ井型表面中心を着目点①とし、一方で载荷状況確認のため着目点②をそれぞれ荷重载荷方向応力 σ_x, σ_y 及びひずみ $\varepsilon_x, \varepsilon_y$ を抽出した。なお、1/4対称モデルであるので実際のモデル寸法は $150\text{mm} \times 50\text{mm}$ で切断位置はモデル隅となる。またモデル側面の境界条件についてはY面外を拘束しない自由端と面外変位 Y を拘束した2ケースを解析し着目点①への影響が工学的に無視できることを確認している。

表-1 内部応力測定方式

測定方式	測定方法	備考
破壊試験法	井型法(切断法)	井型状に溝を切る
	穿孔法(切断法)	穿孔状に溝を切る
	センタードリル法	貫通孔を開ける
	DHD	ドリルで深い孔を開ける
	ESPI	貫通孔を開ける
非破壊試験法	原子間の距離を計測する非破壊検査法	X線回折法
		シンクロトン放射光法
		中性子法
	材料の物性値変化を利用する非破壊検査法	磁歪法
		バルクハウゼンノイズ法
		音弾性法
	被計測モデルによる光弾性法	被計測モデルによる光弾性法

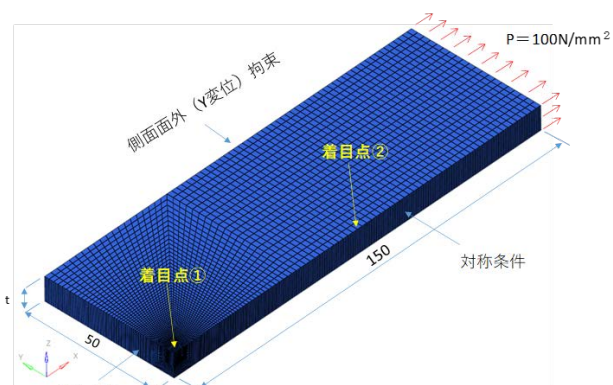


図-2 解析モデル

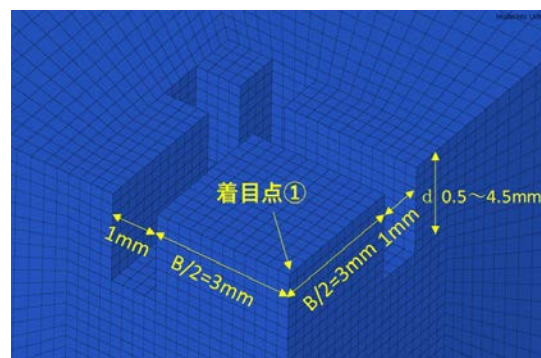


図-3 解析モデル切断部拡大

4. 解析結果

図-4は鋼板厚 $t=12\text{mm}$ 切断深さ $d=2\text{mm}$ の場合の井型切断周辺の σ_x 応力コンタ図である。切断部周辺の応力が局所的に開放され井型部の応力は鋼板表面でほぼゼロまで開放されている。一方、表-1及び図-4は全ケースの着目点①の応力ひずみ結果を示している。切り込み深さ d を大きくしてゆくと応力が開放されて $d=2\text{mm}$ $d/B=0.33$ でほぼ応力ゼロとなり更にこれを超えて大きくすると与えた応力と逆極性となり $d=3.5\text{mm}$ で応力比 (σ_x/σ_{x0}) $=-0.2$ と最小となり更に大きくすると再び応力ゼロに漸近して行く結果となった。また、板厚 $t=9\text{mm}, 12\text{mm}, 16\text{mm}$ の比較では、3つの解析ケースの挙動はおおよそ一致し顕著な差は無かった。

5. まとめ

本結果より一軸一様な応力下で井型法の切断幅 $B=6\text{mm}$ の切断条件は、切込比 $d/B=0.33$ 切込深 $d=2\text{mm}$ が適切であり、鋼板厚 $t=9\text{mm}, 12\text{mm}, 16\text{mm}$ の範囲において板厚の影響はほとんど無いことがわかった。なお、本法適用にあたっては切断幅 B 、切断深さ d に鋭敏に影響を受けることから切断加工精度に留意する必要がある。

参考文献

- ・星野，他 磁歪式応力計測法の鋼橋への適用に関する研究 土木学会第 57 回年次学術講演会（平成 14 年 9 月）
- ・計測メモ 残留応力測定の手順 共和技法 No. 305 1983 年
- ・三上隆男 穿孔法による構造部材の内部残留応力測定技術 日本機械学会誌 2014.2 Vol. 117 1143
- ・三上，等 穿孔法による残留応力技術の検証試験 IIC REVIEW/2015/04 No. 53
- ・三上隆男 穿孔法による残留応力測定について（その 1） IIC REVIEW/2012/10. No. 48

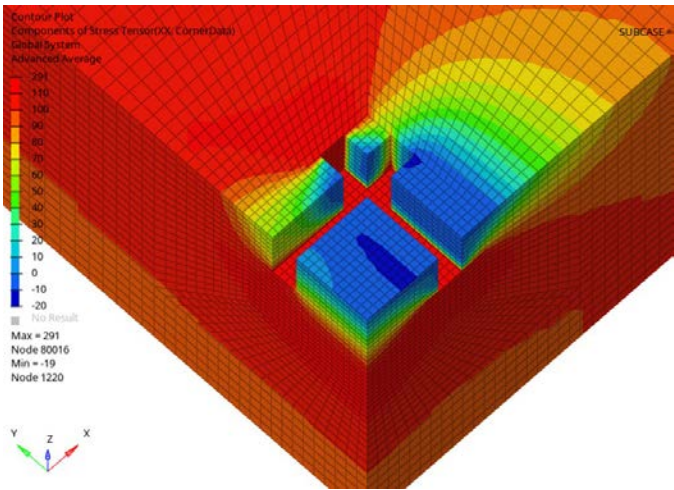


図-4 井型切断部 σ_x コンタ $t=12\text{mm}$ $d=2\text{mm}$

表-2 解析結果一覧

板厚	切込深さ (mm)	着目点①					着目点②
		σ_x	σ_y	ϵ_x	ϵ_y	σ_{x0}	
9mm	0.0	100.0	0.0	5.00E-04	-1.10E-08	100.00	
	0.5	84.9	23.6	4.25E-04	1.18E-04	99.99	
	1.0	55.2	12.1	2.76E-04	6.04E-05	99.98	
	1.5	24.1	1.9	1.21E-04	9.39E-06	99.97	
	2.0	0.4	-4.4	1.96E-06	-2.21E-05	99.95	
	2.5	-13.8	-7.1	-6.88E-05	-3.54E-05	99.93	
	3.0	-19.9	-7.3	-9.96E-05	-3.65E-05	99.91	
	3.5	-20.8	-6.2	-1.04E-04	-3.12E-05	99.89	
	4.0	-18.8	-4.7	-9.42E-05	-2.37E-05	99.86	
	4.5	-15.7	-3.3	-7.85E-05	-1.65E-05	99.84	
12mm	0.0	100.0	0.0	5.00E-04	-1.10E-08	100.00	
	0.5	84.1	23.0	4.21E-04	1.15E-04	99.99	
	1.0	53.6	10.9	2.68E-04	5.46E-05	99.99	
	1.5	22.3	0.6	1.12E-04	2.81E-06	99.98	
	2.0	-1.1	-5.6	-5.69E-06	-2.80E-05	99.96	
	2.5	-14.9	-8.0	-7.44E-05	-4.02E-05	99.95	
	3.0	-20.7	-8.1	-1.03E-04	-4.05E-05	99.93	
	3.5	-21.3	-7.0	-1.07E-04	-3.48E-05	99.92	
	4.0	-19.2	-5.4	-9.61E-05	-2.70E-05	99.90	
	4.5	-16.0	-3.9	-7.98E-05	-1.94E-05	99.88	
16mm	0.0	100.0	0.0	5.00E-04	-1.10E-08	100.00	
	0.5	83.7	22.7	4.18E-04	1.13E-04	99.99	
	1.0	52.8	10.3	2.64E-04	5.17E-05	99.99	
	1.5	21.5	0.0	1.07E-04	-9.00E-08	99.98	
	2.0	-1.8	-6.0	-8.91E-06	-3.01E-05	99.97	
	2.5	-15.3	-8.3	-7.63E-05	-4.15E-05	99.96	
	3.0	-20.8	-8.2	-1.04E-04	-4.12E-05	99.95	
	3.5	-21.3	-7.0	-1.07E-04	-3.51E-05	99.94	
	4.0	-19.2	-5.4	-9.58E-05	-2.72E-05	99.92	
	4.5	-15.9	-3.9	-7.94E-05	-1.97E-05	99.91	

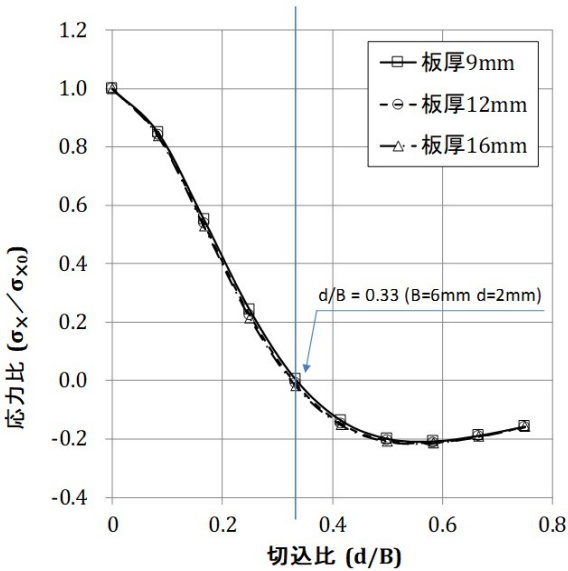


図-5 応力比と切込比の関係