

亀裂先端のプロセスゾーンの動的な換算長さについて

Equivalent Length of Process Zone at Crack Tips

名城大学大学院 学生員 ○松岡 功治 (株)安部工業所 正会員 國富 康志
東海女子大学 正会員 藤井 康寿 名城大学 正会員 中川 建治

1.はじめに

平板に含まれる直線状亀裂周辺の静的な応力解析において，著者等の従来の研究の特徴は亀裂先端にプロセスゾーンを設定して応力関数を誘導することである¹⁾．研究をさらに進めて直線状亀裂1本を含み周辺が単純支持された長方形板の固有周期をフーリエ級数解に基づいて数値解析的に決定するこの手法を編み出したので²⁾，亀裂の完全開口部とプロセスゾーンの長さの比率を変化させつつ板の固有周期の変化を詳しく検討することが可能になった．さらに，長方形板は亀裂線を界面として両側の板の剛性が異なる場合(interface crack)でも同様に固有周期を解析することが可能になったので，次のようにして“プロセスゾーンの長さを動的な等価換算長さとして完全開口部の長さに換算する”ということを試みた．

2.解析対象

図-1に示した解析例のモデルは100cm×100cmの正方形の鋼板であり，亀裂線より $x < 0$ 側は厚さ1cm， $0 < x$ 側は厚さ0.5cmとする．支持条件は， $y = 0$ と $y = L_y$ の相対2辺は単純支持で， $x = L_{x1}$ 辺は固定支持 $x = L_{x2}$ 辺は単純支持とする．亀裂線は板の中央で支持線に平行な y 軸とする．まず亀裂は完全開口長さ $2a = 30\text{cm}$ ，プロセスゾーンはそれぞれ $b = 5\text{cm}$ のものを基本にする．この板で第 k 番モードの固有周期 T_k を計算する．次に a と b とを増減させて同じ k 番モードの固有周期を計算するのであるが，試行錯誤によって，固有周期が有効数字3桁までは変化しないような a と b の組み合わせを導く．このような計算の結果を図-2に示すが，願わくはプロセスゾーン b を0に限りなく近付けた場合の結果を求めたい．しかし次のような理由でこの図の結果が本解析の限界である．

周知のことであるが，平板の問題をフーリエ級数で扱ったとき， y 方向のsine級数展開に対して x 方向は指数関数を取り，級数に次数を大きくすると指数関数の値が過大

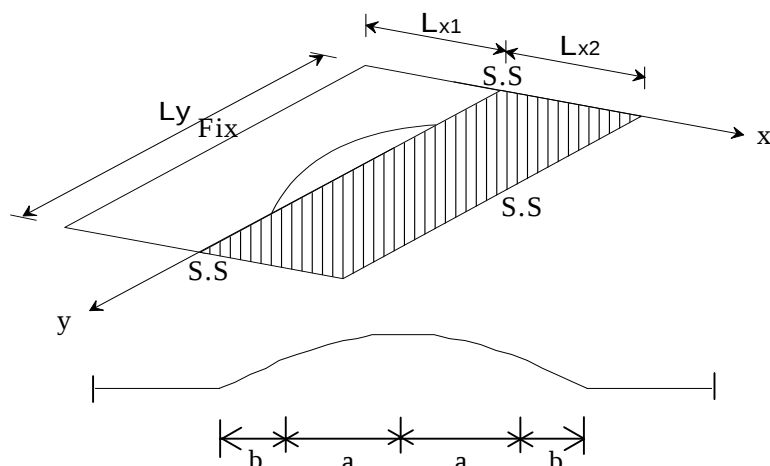


図-1 解析モデルと開口部拡大図

a) 1次モード

開口長さ a	プロセスゾーン b	固有値 λ	振動周期 T	(a+b)	(a+8*b)	(a+0.65*b)	(a+0.7*b)
14	6.27	0.65534	0.023817	20.270	17.762	18.076	18.388
15	5.00	0.65535	0.023916	20.000	18.000	18.250	18.500
16	3.00	0.65535	0.023916	19.000	17.800	17.950	18.100
17	1.70	0.65540	0.023913	18.700	18.020	18.105	18.190

b) 2次モード

開口長さ a	プロセスゾーン b	固有値 λ	振動周期 T	(a+b)	(a+8*b)	(a+0.65*b)	(a+0.7*b)
14	6.30	1.21080	0.007007	20.300	17.780	18.085	18.410
15	5.00	1.21080	0.007007	20.000	18.000	18.250	18.500
16	3.30	1.21080	0.007007	19.300	17.880	18.145	18.310
17	1.70	1.21080	0.007007	18.700	18.020	18.105	18.190

c) 3次モード

開口長さ a	プロセスゾーン b	固有値 λ	振動周期 T	(a+b)	(a+8*b)	(a+0.65*b)	(a+0.7*b)
14	6.26	1.94200	0.002724	20.260	17.756	18.069	18.382
15	5.00	1.94210	0.002723	20.000	18.000	18.250	18.500
16	3.04	1.94210	0.002723	19.040	17.824	17.976	18.128
17	2.03	1.94215	0.002722	19.030	18.218	18.320	18.421

図-2 振動周期を一定とした際の a+b の組み合わせ

キーワード：界面亀裂，長方形板，振動，プロセスゾーン，換算長さ

連絡先：〒468-8502 名古屋市天白区塩釜口 1-501 名城大学理工学部 TEL 052-832-1151, FAX052-832-1178

と成って計算不能に陥る．この欠点を極力回避する努力をしても長方形板のスパンを150等分して解析する精度に相当する項数150項までが本研究で可能なフーリエ級数項である．スパン100cmを150分割して解析する場合の長さの精度は7mm程度になるので， a と b の組み合わせを変化させるにも b の最小値は $7 \times 2 = 14\text{mm}$ 以下にしては精度に問題が生じる．

3.解析結果

図-3は上から第1次・第2次・第3次モードの固有周期をそれぞれ一定とする $a+b$ の組み合わせを示したものであるが，同時に $a+0.6b$ ， $a+0.65b$ ， $a+0.7b$ に相当する換算長さの線も併記してある．この換算長さ線が一定に近いものが近似換算長さとして望ましい値と思われる．図-2においては，各次モードの固有値さらには固有周期も同時に示してある．これらの結果より，各々のモードにおいて， $a+0.65b$ の換算長さの線が最も変化が小さく，一定に近いものと見なすことができる．よって，プロセスゾーン b をほぼ0.65倍して完全開口長さ $2a$ に加えて完全開口のみの亀裂とみなしてよいということが推察される．

4.まとめ

本研究では、界面亀裂を含む長方形板の固有周期に関する解析と同時に、亀裂先端のプロセスゾーンの動的な換算長さに関して解析を行い、以下の事を明らかにした．

- 1) 板厚比を変化させた場合においても、開口部での応力分布から十分な精度が得ることが可能である．
- 2) プロセスゾーン b を0.65倍した際の換算長さが近似換算長さとして最も望ましい値であり、その近似換算長さが完全開口のみの亀裂と見なすことができる．

【参考文献】

- 1) 藤井，中川：面内引張りを受ける境界面亀裂問題の応力関数，土木学会論文集V-25 (502). 23-32, 1994
- 2) 松岡，土山，国富，中川：亀裂を含む長方形板の亀裂位置と固有周期の相対関係の解析，平成17年・土木学会第60回年次学術講演会・概要集 -351
- 3) 松岡，土山，国富，中川：界面亀裂を持つ周辺単純支持された板の固有周期に関する解析，平成18年・土木学会中部・概要集 -17

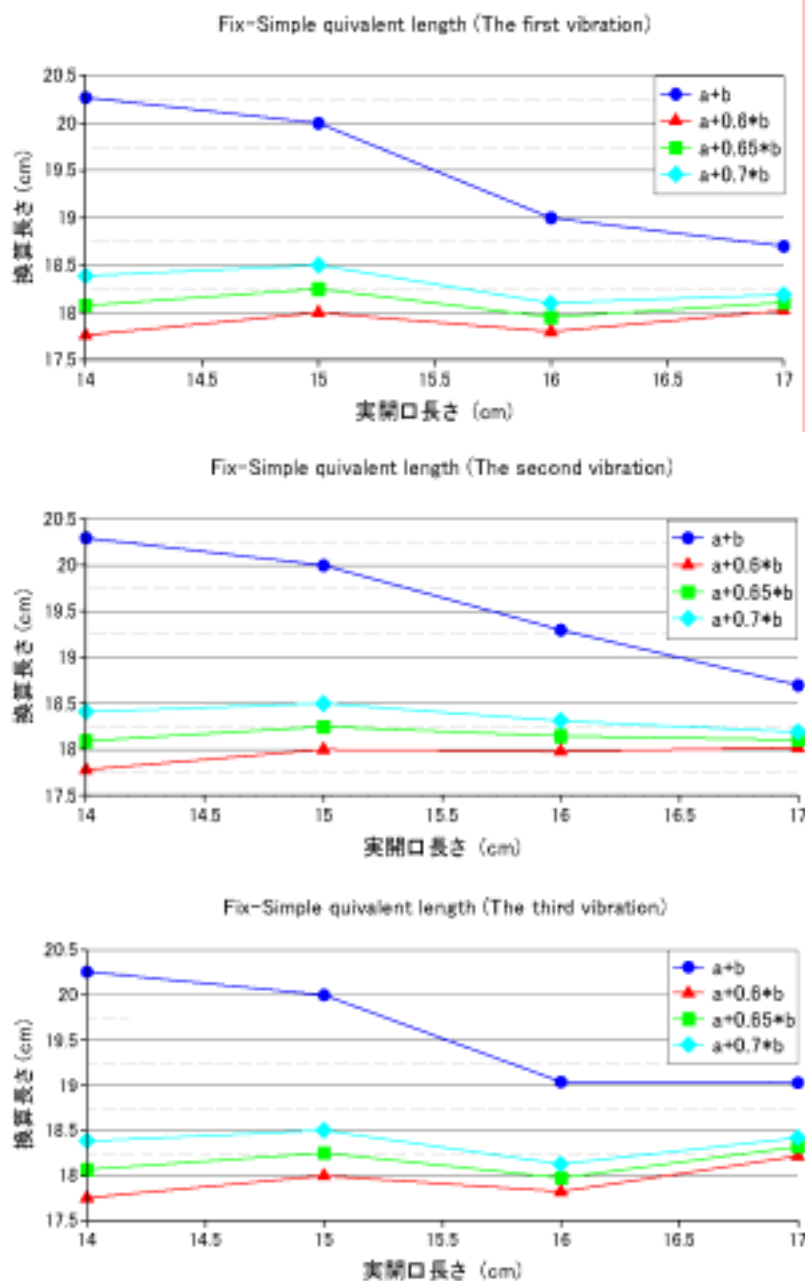


図-3 各次モードの換算長さ