

CFRP補強された鋼桁の 曲げ終局メカニズムに関する一考察

構造強度学研究室

笠原華子

鋼橋の補修・補強工法の1つとして

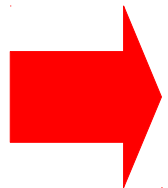
炭素繊維補強（CFRP）シートの貼付が注目されている

松村ら（2008）

実験などにより，CFRPシート貼付が鋼部材の
曲げ耐力の向上に効果的であること明らかにした。

しかし、その終局メカニズムは明らかにされていない

→**設計における限界状態を規定できない**

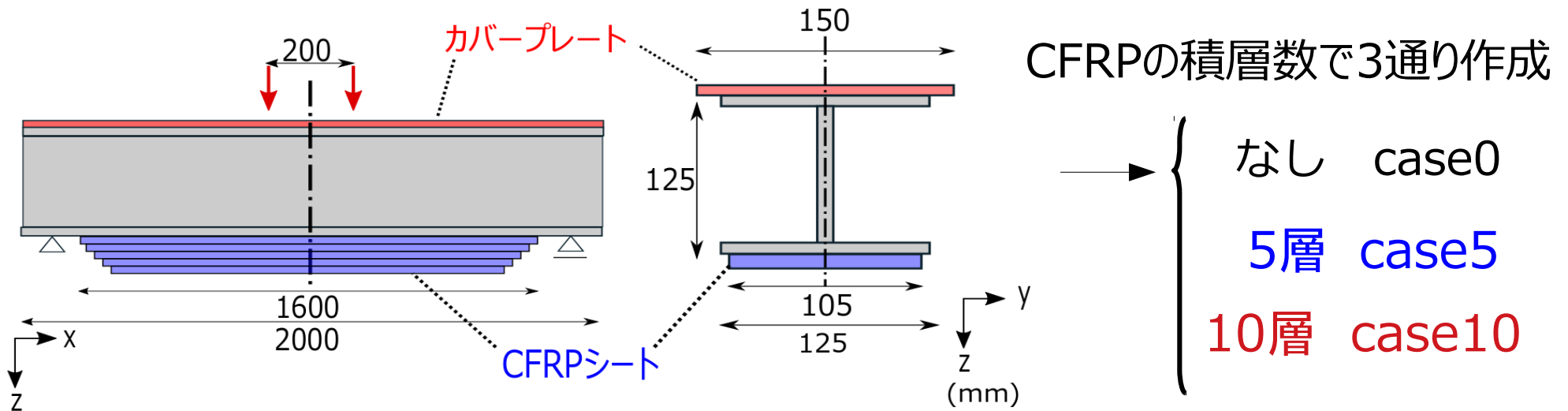


本研究では，CFRP補強された鋼桁の
曲げ終局メカニズムを明らかにすることを目的とする

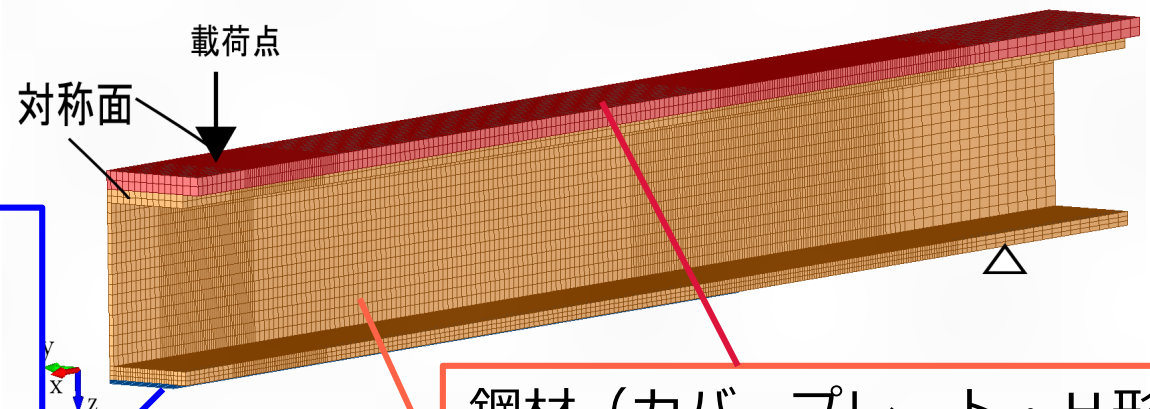
解析対象

2/7

H形鋼の4点曲げ試験体



1/4有限要素モデル



CFRP

横等方性と破断を考慮

引張強度に達した要素を

削除することで破断を再現

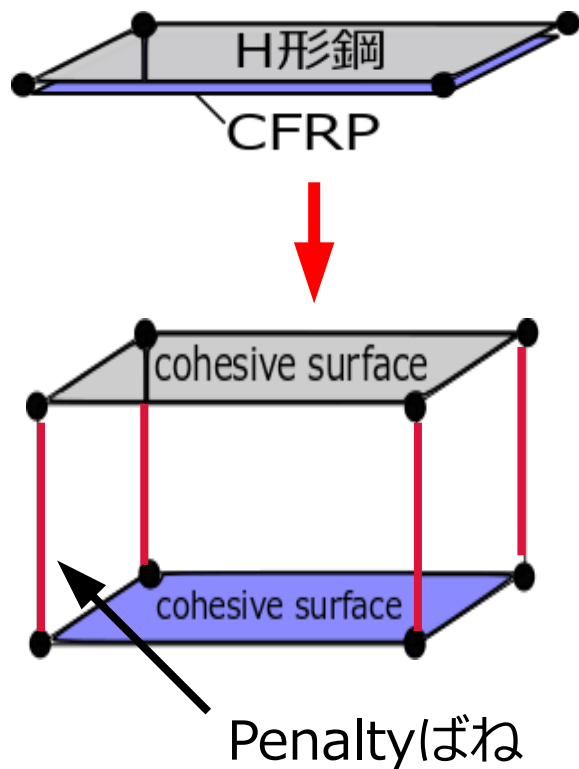
鋼材 (カバープレート・H形鋼)

材料非線形性を考慮

界面のモデル化

3/7

鋼材-CFRP界面の剥離の再現には **cohesiveモデル** を用いる
(A.Needleman 2014)

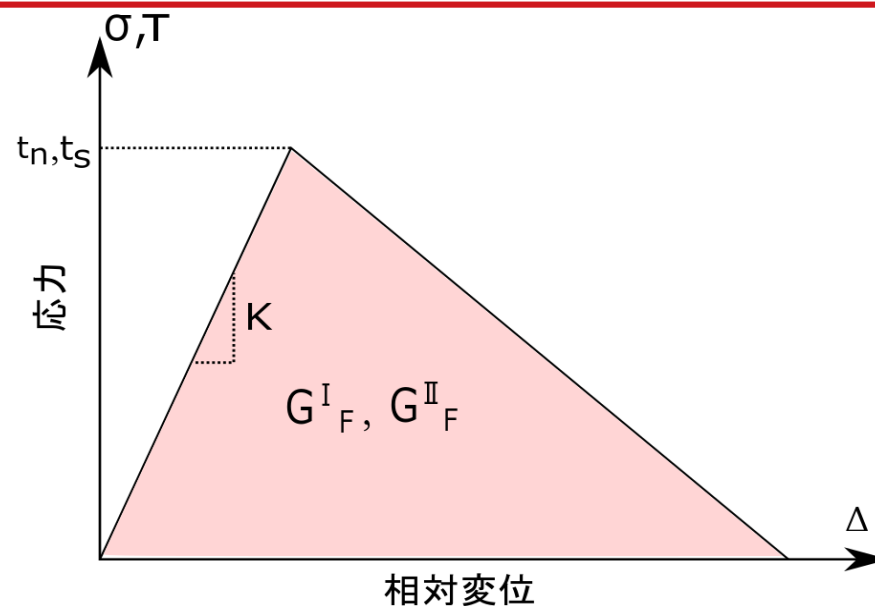


Penaltyばね

- Penalty剛性 K
- 付着強度 t
- エネルギー解放率 G_F

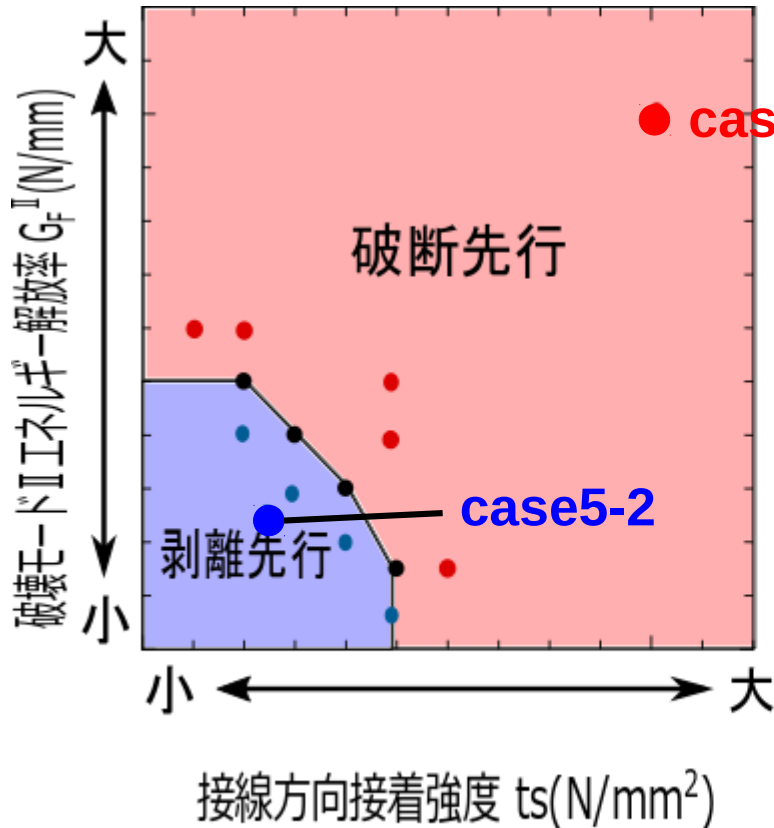
II

界面間の接触力（鉛直方向、接線方向）を **Penaltyばね** により伝達し、その降伏と軟化によってを剥離を再現

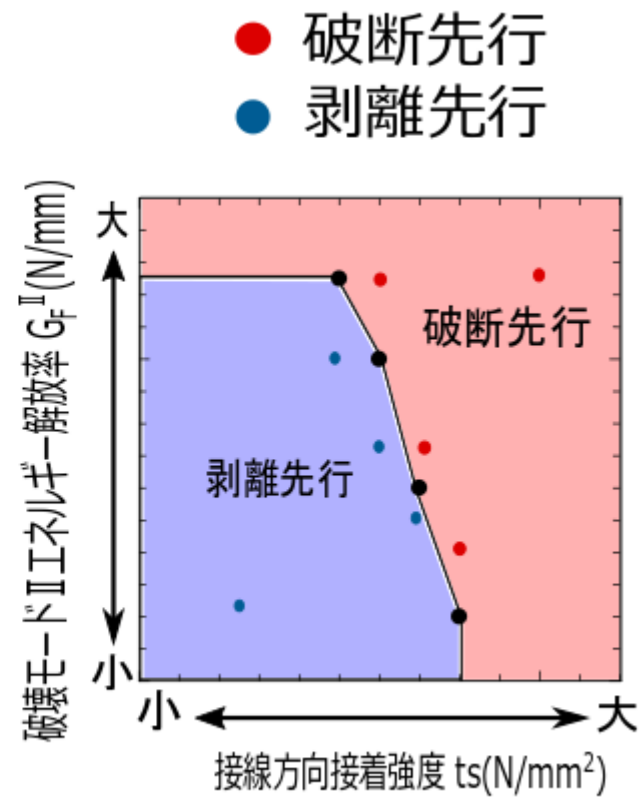


Penaltyばねの応力-相対変位関係

界面のモデル化



(a) case5 (CFRP 5層)



(b) case10 (CFRP 10層)

界面特性値

エネルギー開放率
接線方向付着強度
Penalty剛性

case5-1

$G_{II}^F = 0.1 \text{ N/mm}$
 $t_s = 10 \text{ N/mm}^2$
 $K = 4.0 \times 10^3 \text{ N/mm}^3$

→ CFRP破断先行

1/4

case5-2

$G_{II}^F = 0.025 \text{ N/mm}$
 $t_s = 2.5 \text{ N/mm}^2$
 $K = 4.0 \times 10^3 \text{ N/mm}^3$

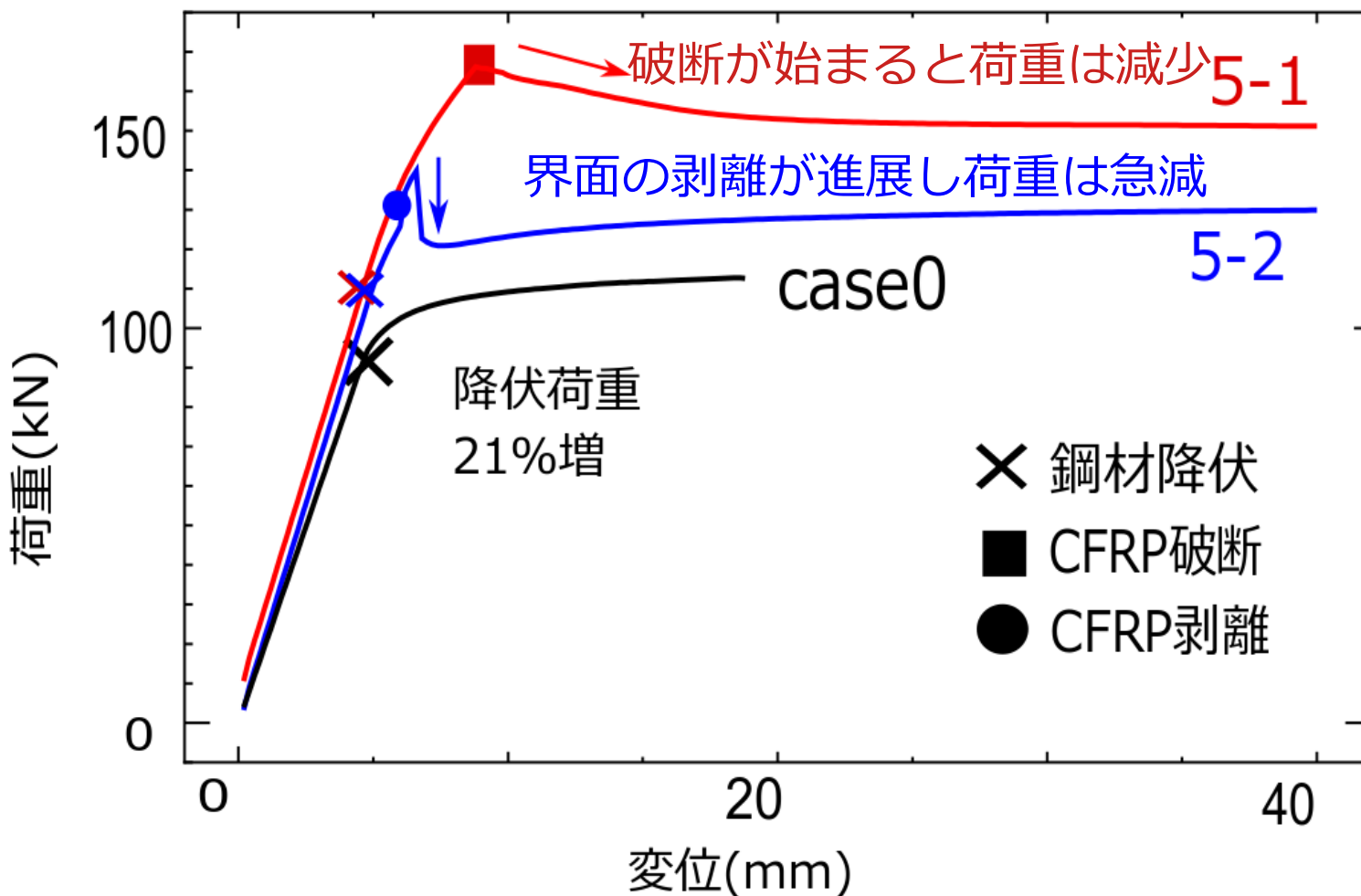
→ CFRP剥離先行

解析結果

Case0 (CFRPなし)
鋼材降伏 91kN
全塑性荷重 113kN

Case5-1 (CFRP破断先行)
×鋼材降伏 107kN
■CFRP破断 138kN

Case5-2 (界面剥離先行)
×鋼材降伏 107kN
●CFRP剥離 126kN



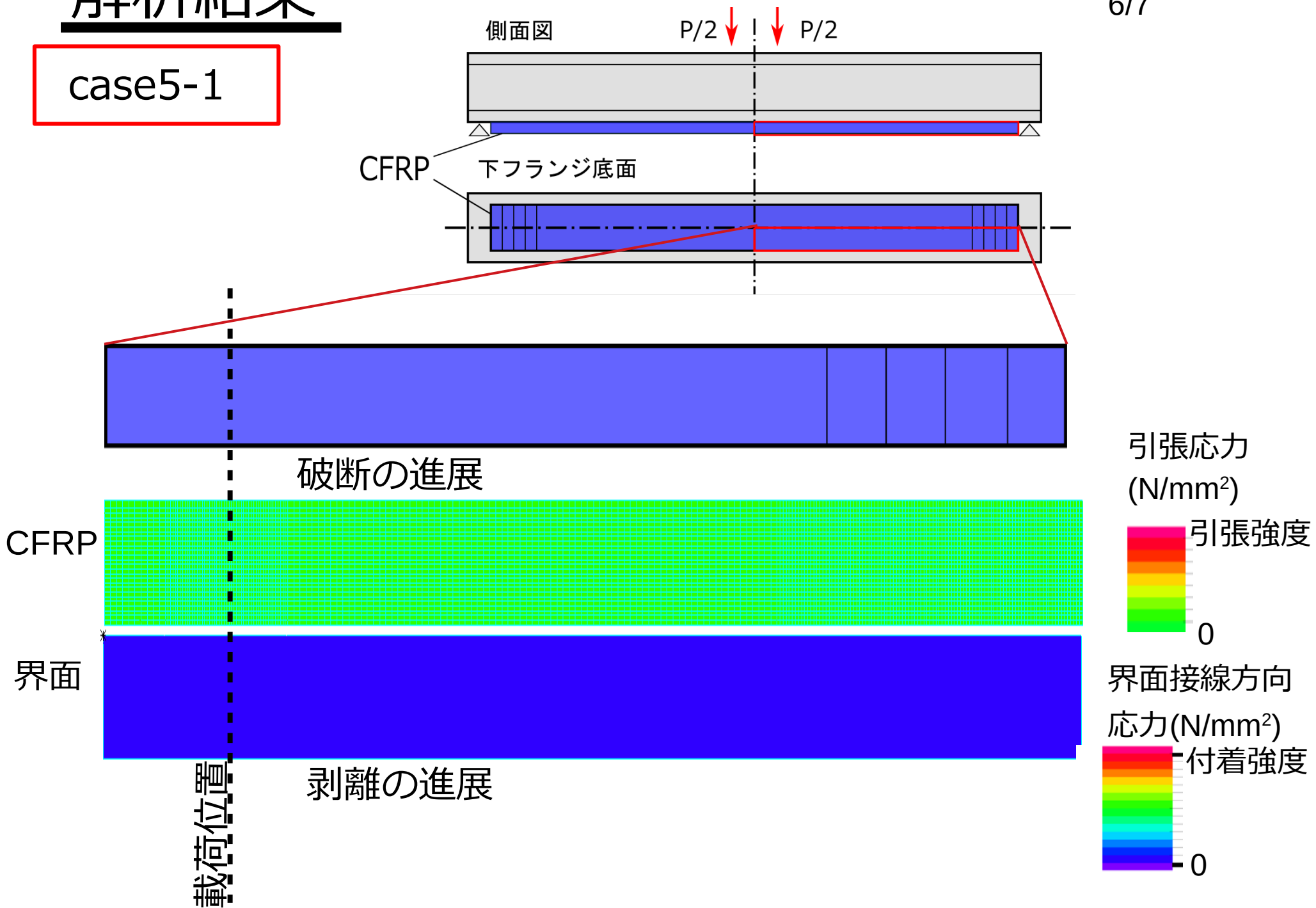
鋼材降伏荷重は
21%増加

鋼材降伏後、
剛性は約50%低下

解析結果

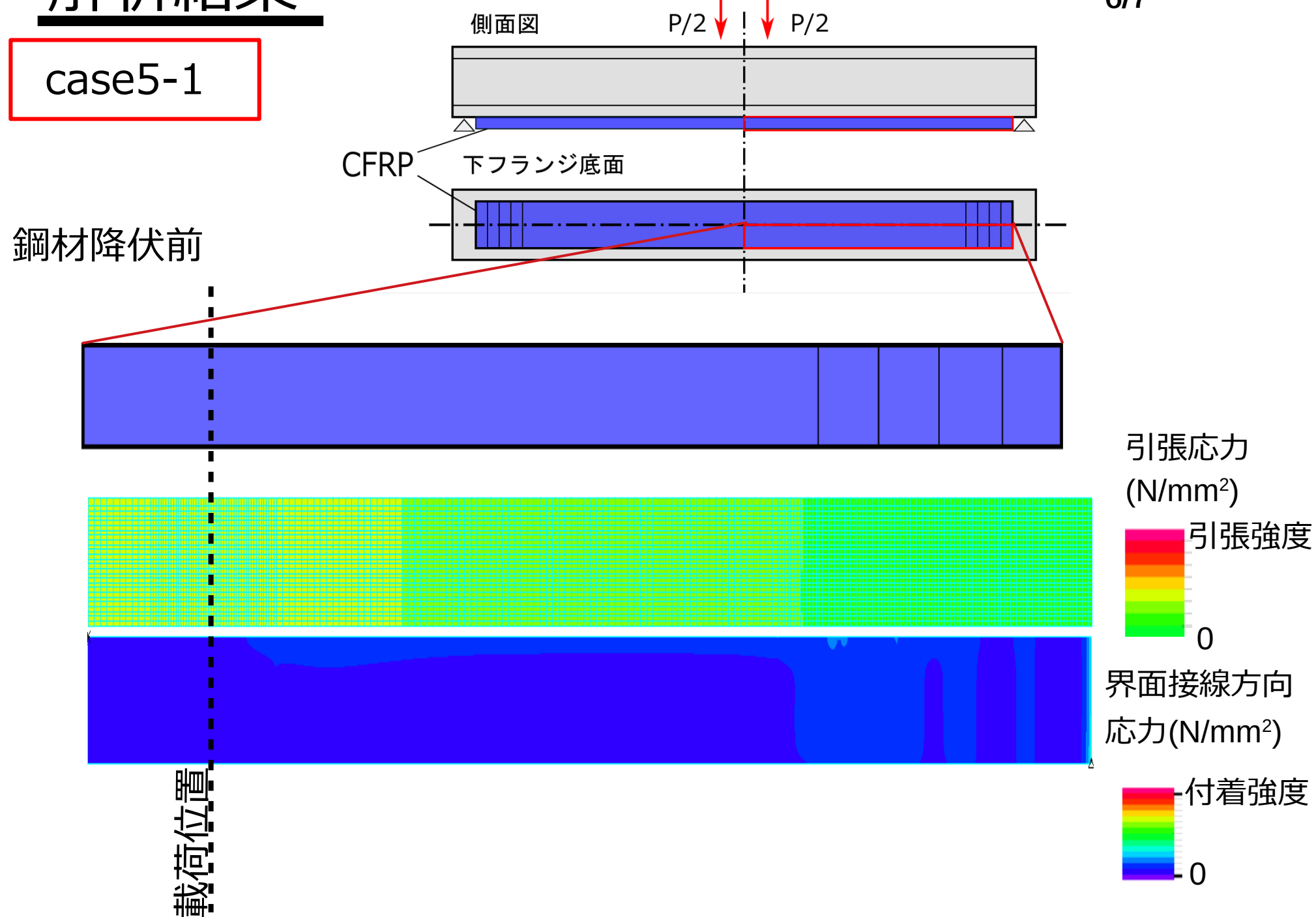
6/7

case5-1



解析結果

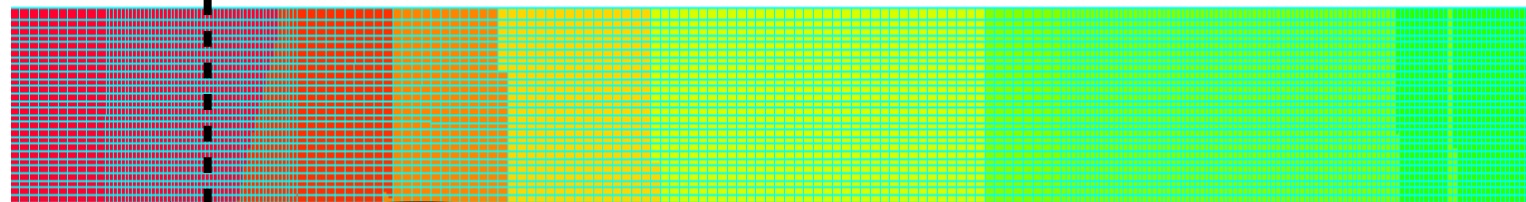
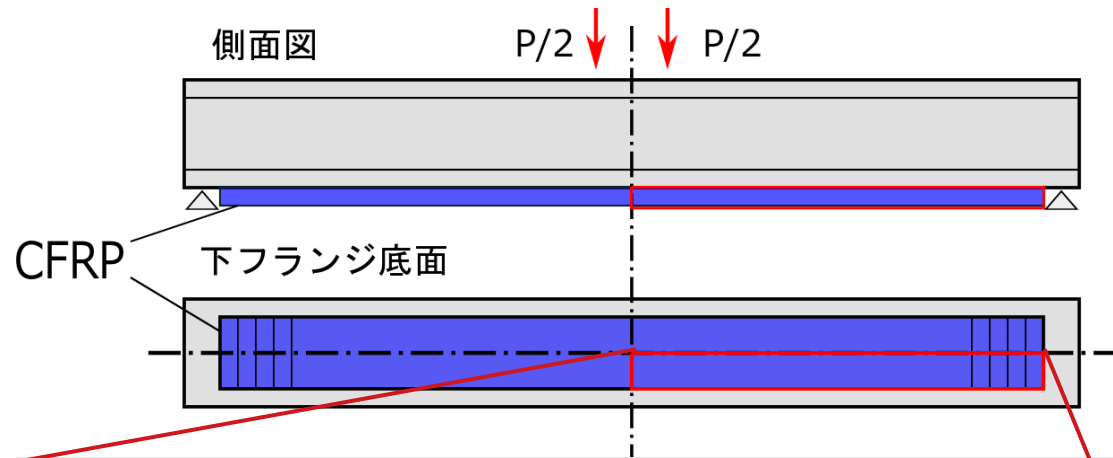
case5-1



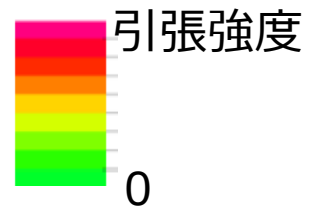
解析結果

case5-1

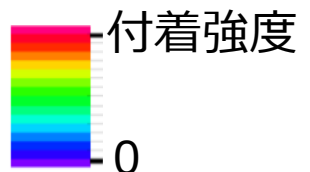
鋼材降伏後



引張応力
(N/mm²)



界面接線方向
応力(N/mm²)

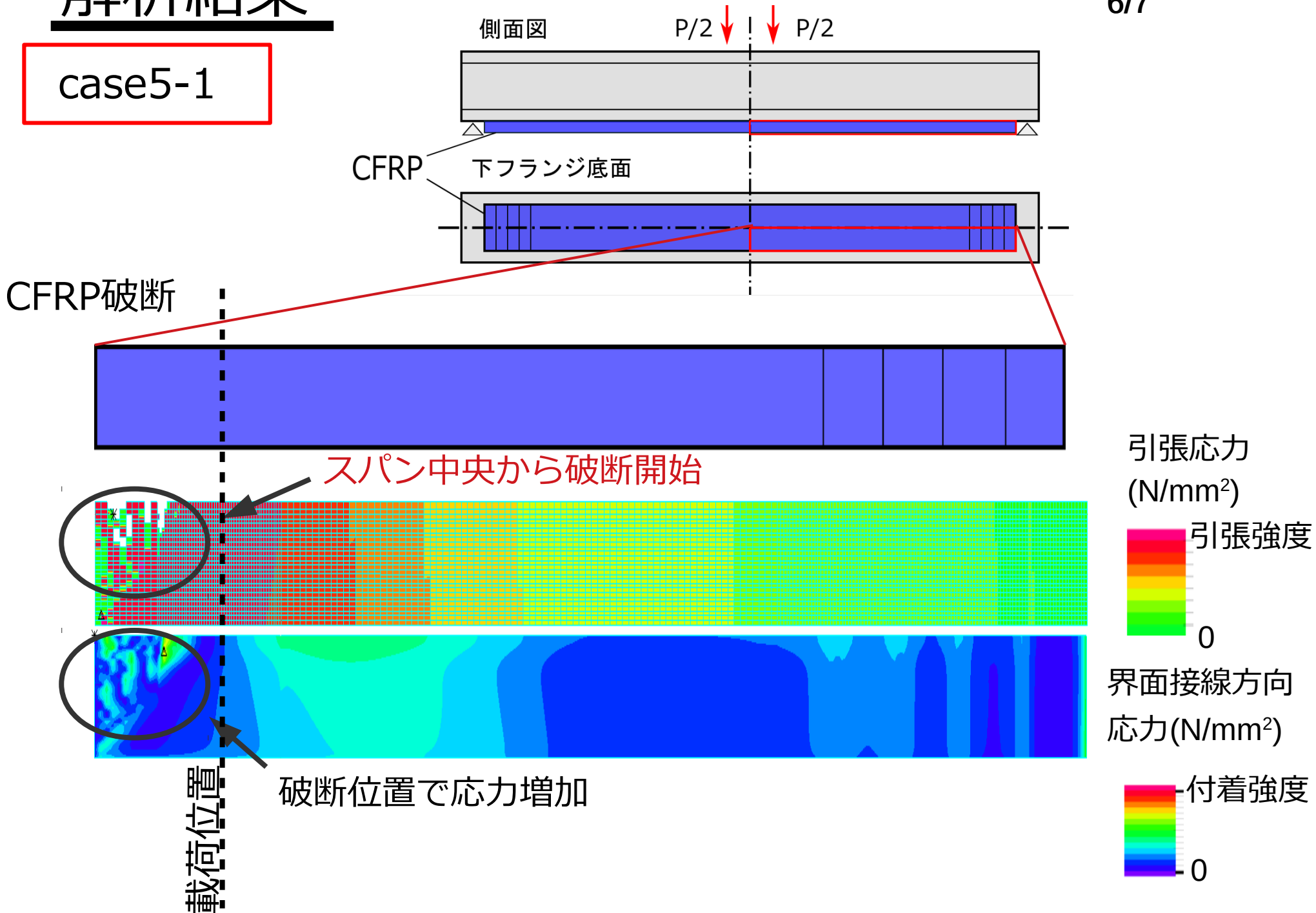


載荷位置

↑
載荷点より支点よりのウェブ直下で応力が卓越
剥離が先行する場合、この位置から剥離が進展する

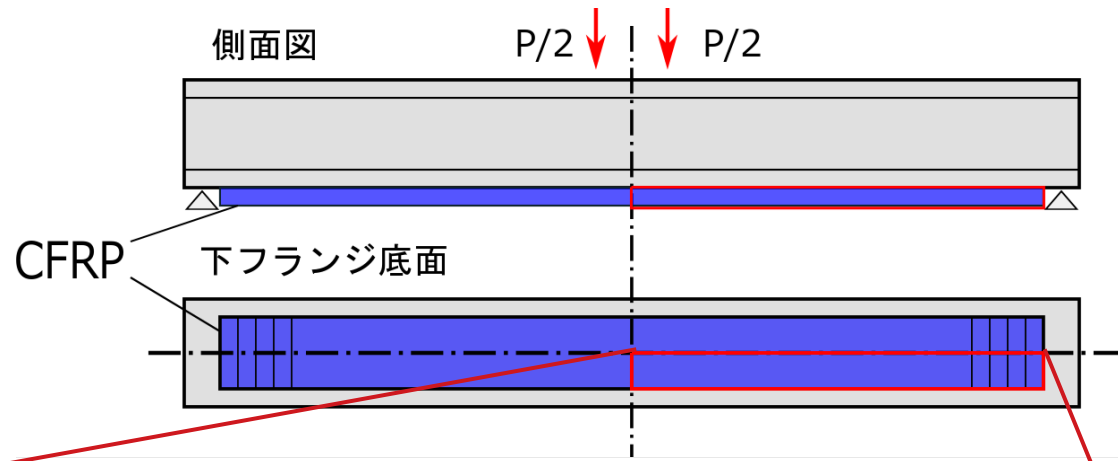
解析結果

case5-1

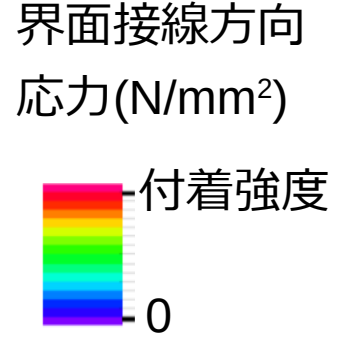
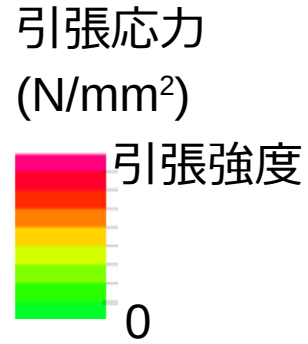
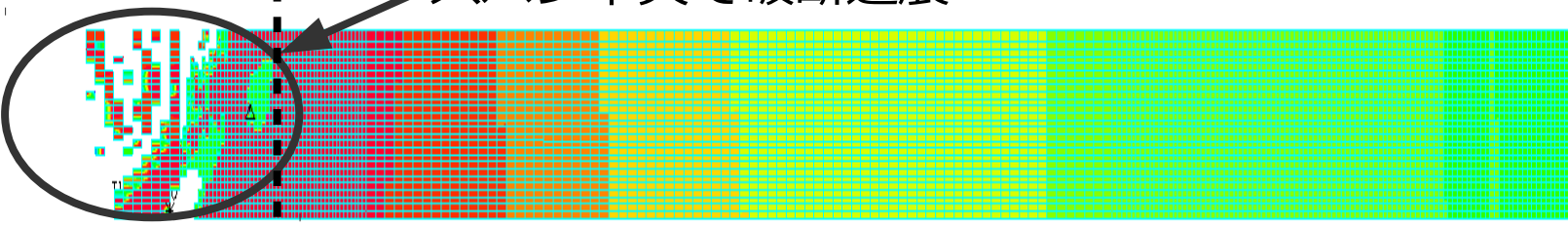


解析結果

case5-1



スパン中央で破断進展

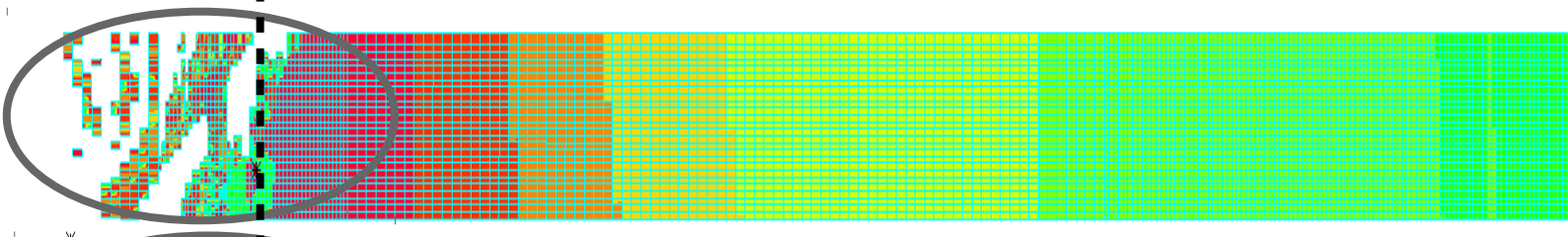
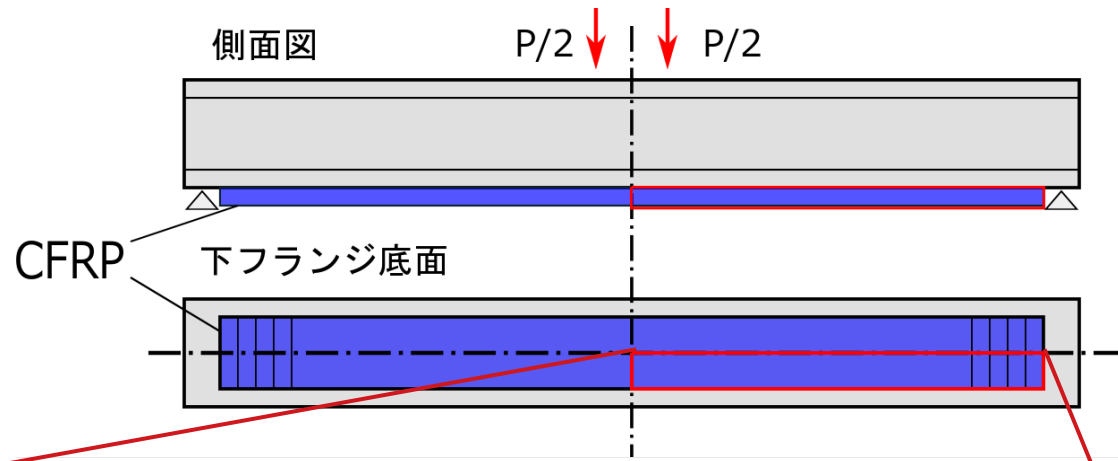


破断位置で応力増加

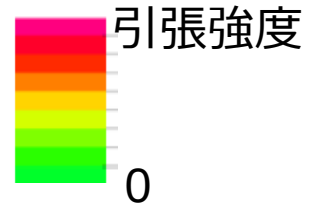
載荷位置

解析結果

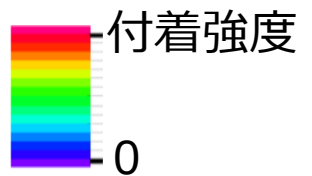
case5-1



引張応力
(N/mm²)



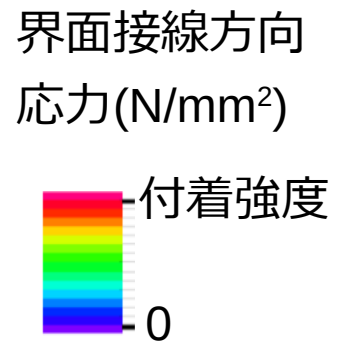
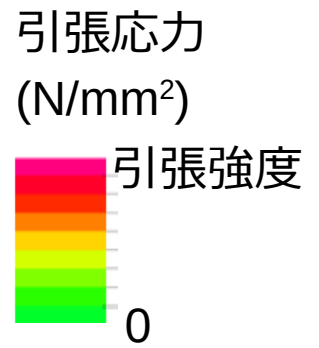
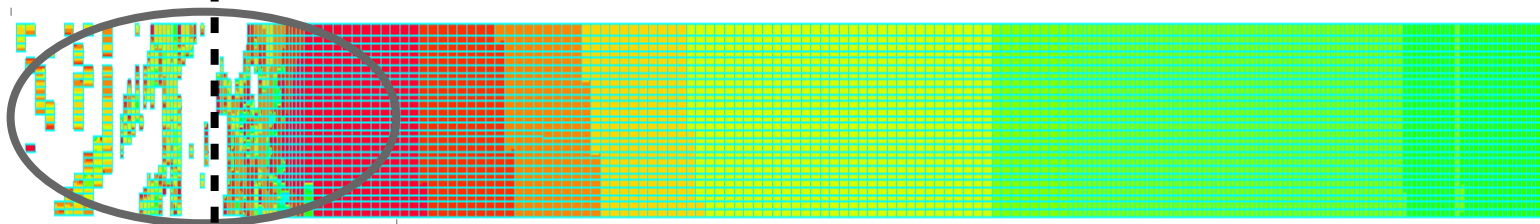
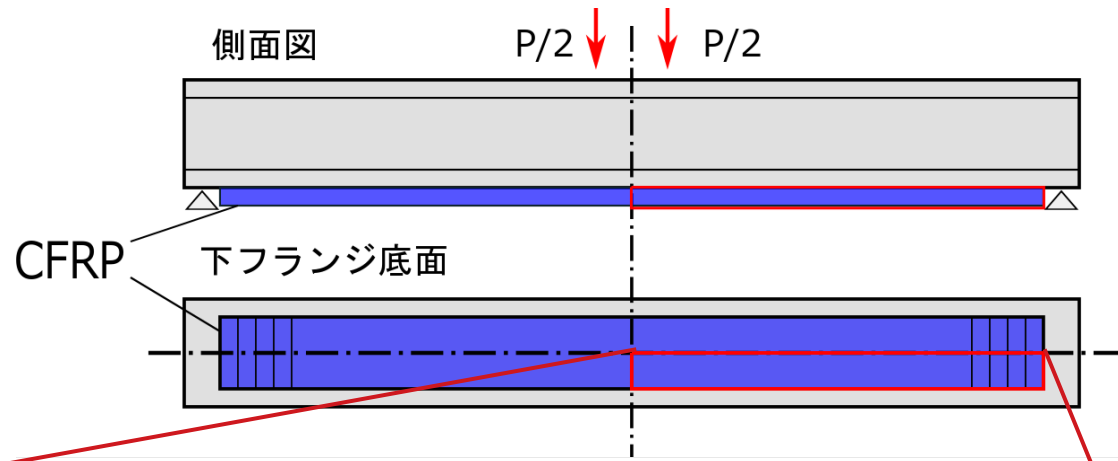
界面接線方向
応力(N/mm²)



载荷位置

解析結果

case5-1

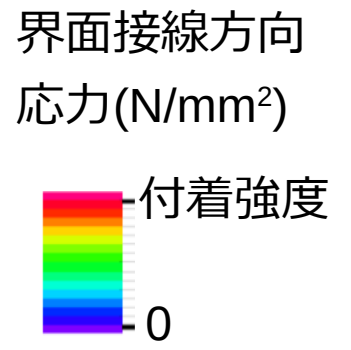
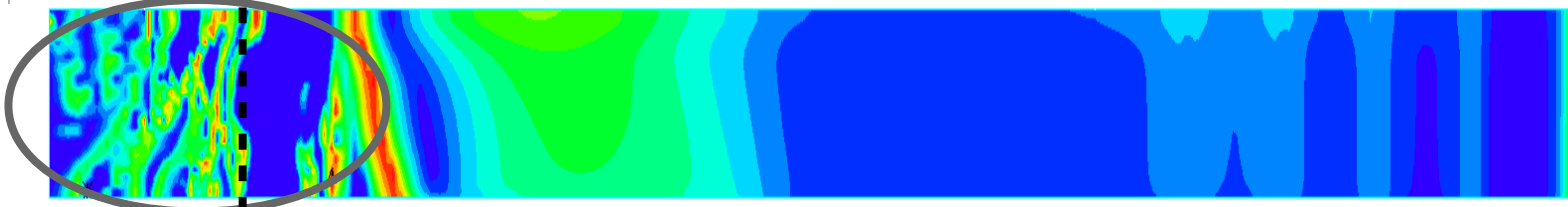
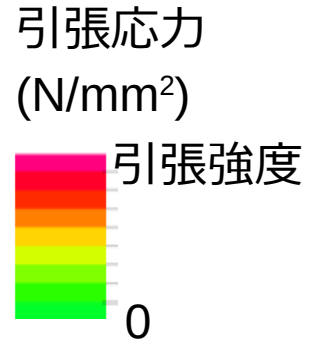
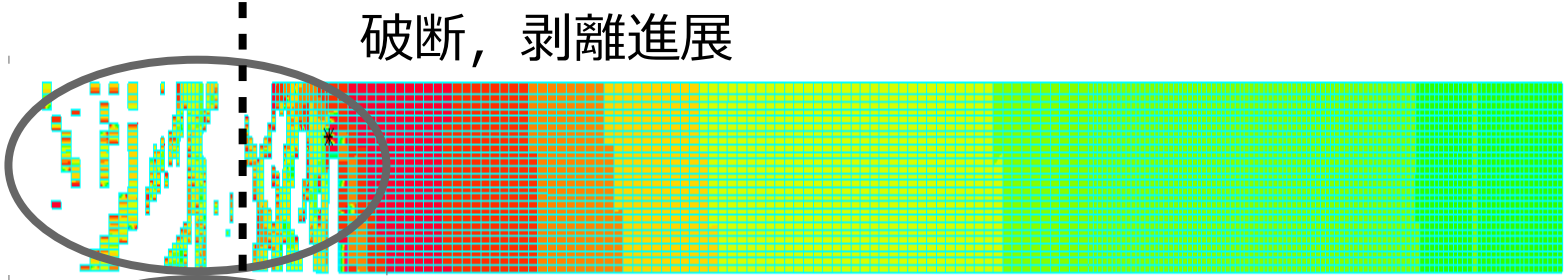
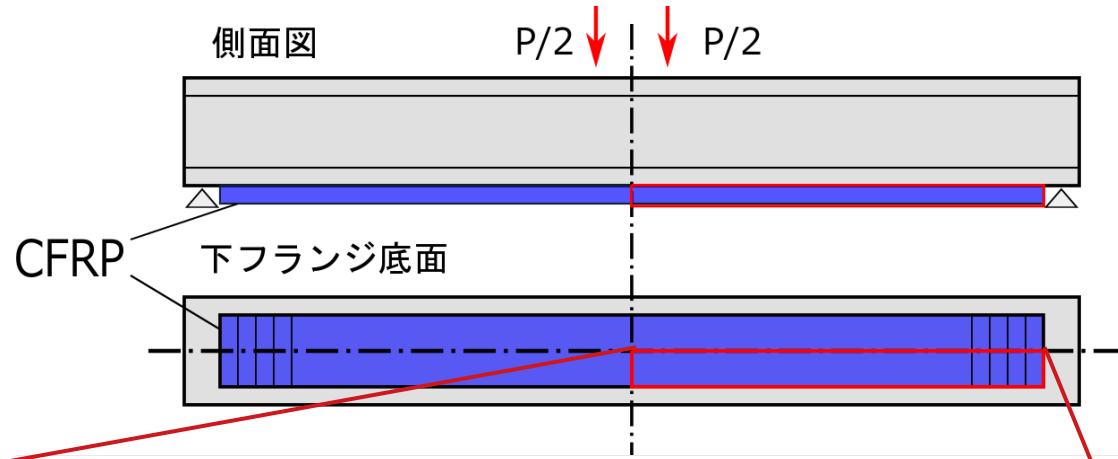


破断開始位置で剥離

載荷位置

解析結果

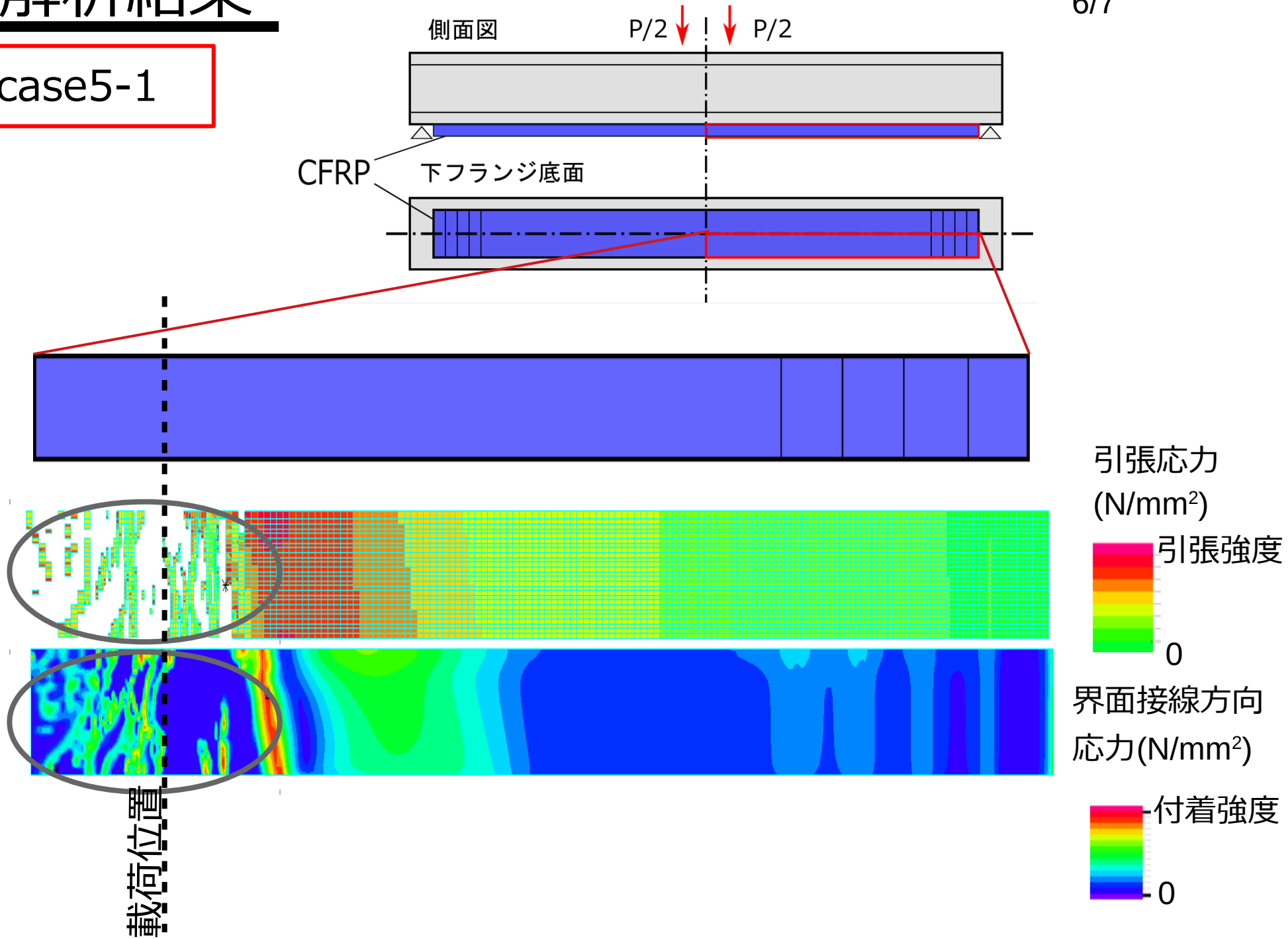
case5-1



載荷位置

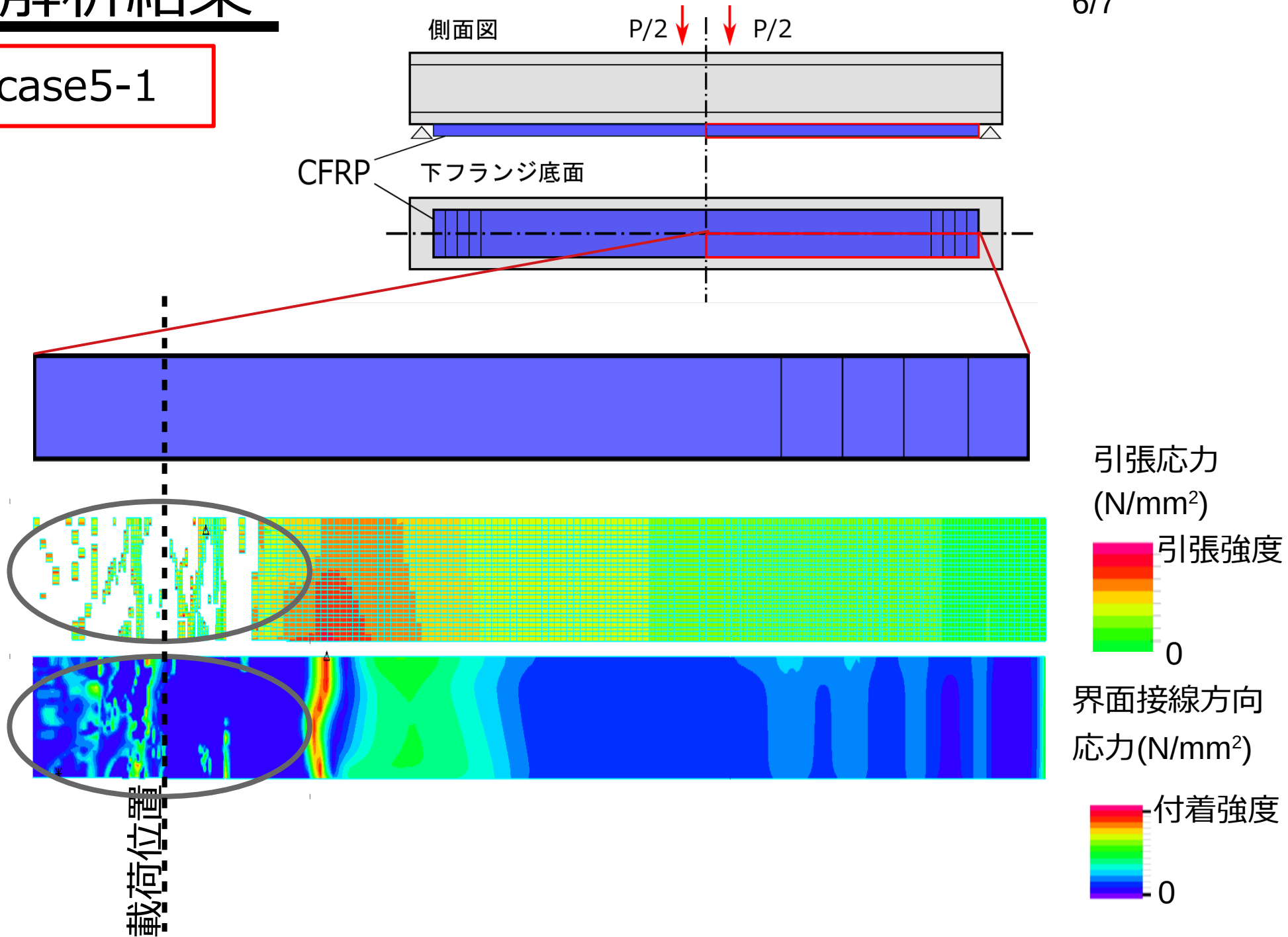
解析結果

case5-1



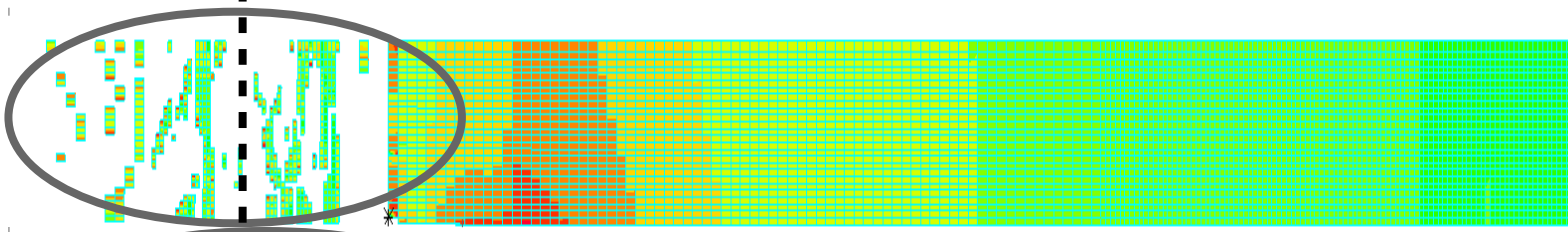
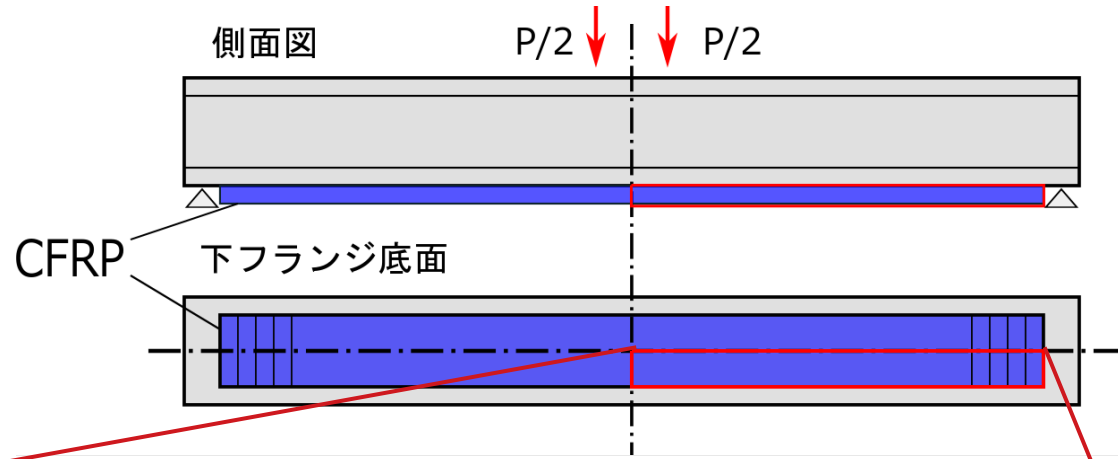
解析結果

case5-1

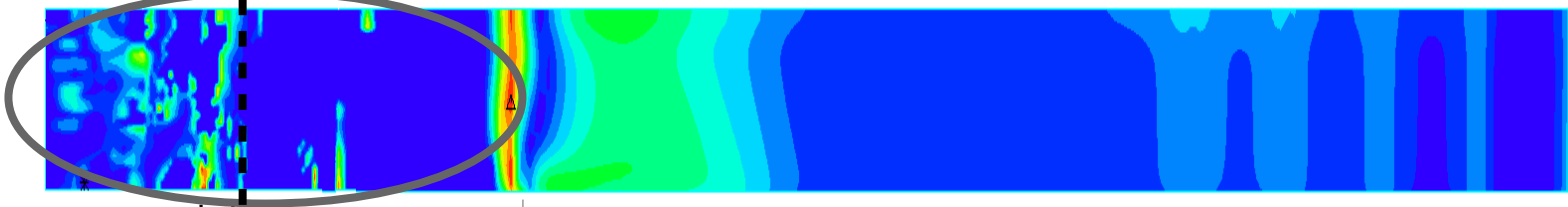
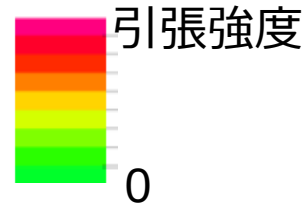


解析結果

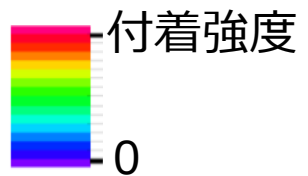
case5-1



引張応力
(N/mm²)



界面接線方向
応力(N/mm²)



載荷位置

破断位置でのみ剥離が起きた

CFRP補強された4点曲げ試験体に対し、
CFRPシートの剥離を考慮した非線形有限要素解析を行った

- CFRP貼付とその積層により鋼部材の降伏後も耐力向上が確認できた
- CFRPの接着強度が十分である場合、CFRP剥離は破断位置でのみ進展した。
- CFRPの接着強度が不十分である場合、CFRPの剥離進展により鋼部材は脆性的に耐力を失った。

CFRP剥離を破断に先行させなければ、
剥離の進展は限定的であったため、
CFRP破断を終局状態とすることが望ましい