

I — 1 腹板切り欠き部の応力集中解析

北海学園大学工学部 正会員 当麻 庄司

北海学園大学工学部 三国 晃義

センチュリーリサーチセンター(株) 星野 淳一

1. 緒言

プレートガーダーの腹板を支点部で切り欠くことは、設計の都合上やむを得ず行なう場合があるが、当初の設計においては、腹板切り欠き部のコーナー部に疲労によるクラックの発生が見られた。現在では、この腹板切り欠き部の設計に改善が行なわれ、その結果、現在までこの部分に損傷を受けたという報告はなく、設計改善の効果は現われているものと思われる。しかしながら、現在の改善された設計においても、首都高速道路公団や阪神高速道路公団及び、橋梁建設協会等の標準設計の間には微妙な相違が存在し、十分この問題は解決されたとは言い難く、更に検討を重ねる必要があると考えられる。そこで、著者の1人は、先にこの問題の提起を行なったが¹⁾、ここでは腹板切り欠き部の構造設計を有限要素法を用いた解析により検討することにする。

2. 腹板切り欠き部の有限要素解析の概要

現在の腹板切り欠き部の標準設計は、基本的には、加藤らの行なった研究²⁾を基としている。加藤らは、種々の腹板切り欠き部の構造等に対して、実験と有限要素解析を行ない比較検討している。この時の結論は、フランジの応力集中

を腹板よりも重視して導き出しているが、腹板切り欠き部の応力集中は、フランジよりもむしろ腹板が問題となる。腹板切り欠き部の構造的な問題は、腹板を切り欠いたコーナー部の応力集中の程度がどれ位になるかということに集約されるため、種々の設計案に対して有限要素解析を行ない、このコーナー部の腹板の応力状態を分析していくことにする。解析の対象とした構造モデルは、図-1に示す通りである。解析を行なった設計案は疲労損傷が発見された旧設計をはじめ、現在、阪神高速道路公団で採用されている標準設計および、それらの改良案の合計6ケースである。どの構造案に対しても基本的には、図-1と同じ部材寸法を用いた。

荷重は、支点部に10tを載荷し、境界条件は端部の腹板の全節点を上下水平の2方向に拘束した。解析は、3角形平面応力要素を用いた立体板構造として行なった。

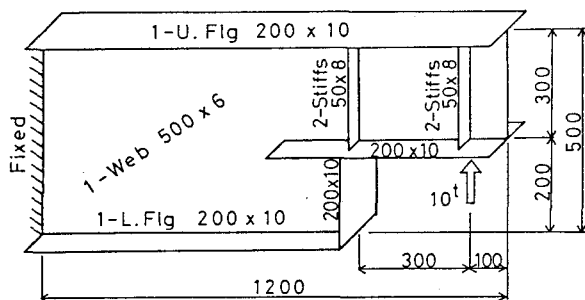


図-1 腹板切り欠き部の解析モデル

3. 旧設計の有限要素法による解析

旧設計は、腹板を切り欠いたコーナー部の形状を円形で緩和させ、それに沿ってフランジを取り付けたものである。図-2に旧設計に対する有限要素解析の結果として、腹板部の主応力分布を示す。太い線で示した部分では、フランジ又は補剛材の取り付けしていることを表わす。この時のコーナー部の半径は $R=150\text{mm}$ である。最大応力を生じている要素を着色して示すが、それは、曲線の始点付近に起こっている。しかし、疲労損傷はこの部分に起こったのではなく、むしろ応力としては、それ程大きくない曲線部の $1/3$ 点付近(図-2 ○印)に発生している。これは、応力の方向が腹板とフランジのすみ肉溶接部を離そうとするように働いており、これが、さらに有限要素解析では現われない溶接部の形状不連続による応力集中と重なって疲労亀裂にまで発展したものと思われる。

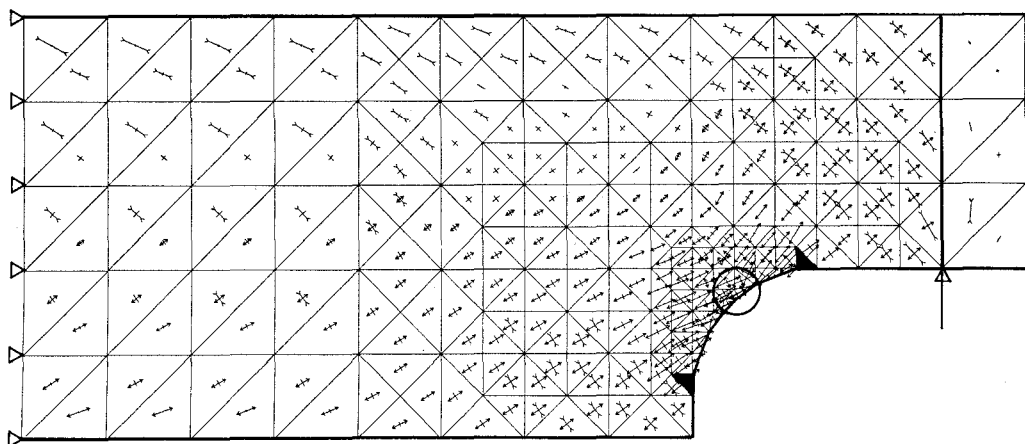


図-2 旧設計の有限要素法応力集中解析

本解析では、半径は比較的大きかったため、この応力もそれ程大きくないが疲労損傷を起こした実橋では、 $R=80\text{mm}$ 程度とされており、もっと大きな応力集中が起こっていたものと予想される。

図-3は旧設計に最も近い形で改善するために、コーナー部の曲線を円の代わりに楕円形による緩和曲線を用いた場合の解析結果を示す。楕円形以外の緩和曲線としては、クロソイド、サイクロイド、3次曲線等種々考えられ、それらの間には、定量的に若干の相違が存在するかもしれないが、定性的には円との比較に於いては大差ないものと思われるので、ここでは楕円形を用いた解析のみを行なった。円形の代わりに楕円形を用いることの効果は、亀裂が発生する箇所の曲率を大きくすることであり、これによって応力集中を緩和し、コーナー部全体の安全性の balan

スにより良くなるということである。図-3を見ると、円の時に見られた曲線部上端の応力集中は直線部から曲線部へのスムーズな形状の移行によってほとんどなくなっているが、下端の応力集中はかなり大きくなっている。問題の腹板とフランジを離す方向に働く引張応力は、相変わらず存在し、結局、円形の代わりに緩和曲線を用いる改善策によっては根本的な改善を期待することは難しい。曲率が大きくなったことによる応力集中低減の程度は検討しなかった。

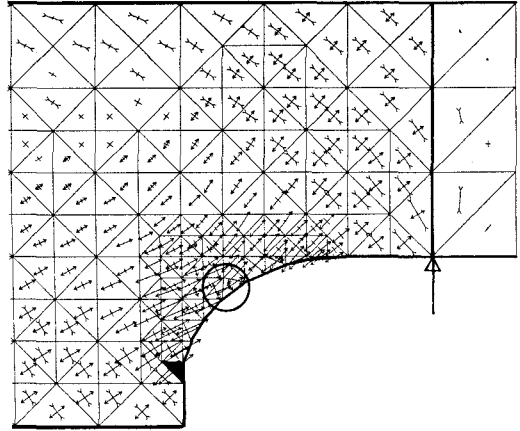


図-3 コーナー部に楕円形曲線を用いた場合の応力集中解析

4. 現設計の有限要素法による解析

現在採用されている腹板切り欠き部の設計は、首都高速道路公団、阪神高速道路公団および橋梁建設協会のそれぞれによって微妙な相違がある。しかし、基本的には、旧設計に対し2つの同様な改良点を施している。1つは、切り欠き部の下フランジを腹板内に挿入してフランジの応力をスムーズに腹板に伝達するようにしたことと、もうひとつは、腹板の板厚を大幅に増したことである。後者の対策は、どういう構造に対しても共通的に有効であるので、ここでは検討の対象としないこととして、前者の構造的な面の効果について検討することにする。

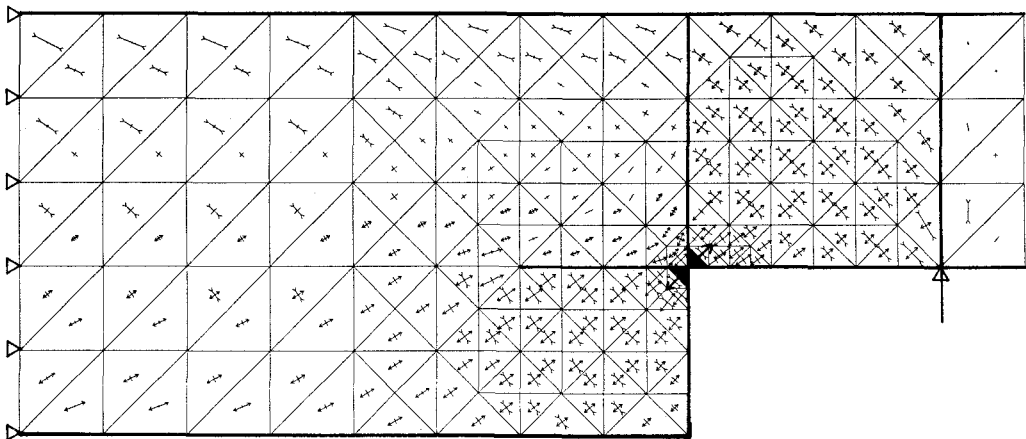


図-4 現設計の有限要素法による解析

図-4は、阪神高速道路公団で標準設計として採用されているもので、旧設計と同じ板厚を用いた時の解析結果を示す。これをみると、当然ながら隅角部の極く近傍に大きな引張応力の集中が見られるが、それ以外は問題はない構造である。疲労設計の基本的な方針として、応力集中を避けるために断面の急変部を作らないということから考えると、この構造は、極端な断面急変部を有しており、この部分の疲労強度低下はかなり著しいと思われる。隅角部の施工には、細心の注意を要する。

図-5は、隅角部の応力集中を緩和するために、切り欠き部の腹板の圧縮方向に斜め補剛材を取りつけた場合の解析結果である。斜め補剛材によって、圧縮方向の剛性を上げて引っ張り方向の負担を軽減し、隅角部の応力集中を和らげようとするものであるが、図-5を見ると分かるようにあまり効果はないようである。解析結果によると斜め補剛材は、単に補剛材近辺の応力を軽減したにすぎない。しかし、実際の橋梁では、有限要素法による平面応力解析では現われてこない面外方向の変形による影響がこの斜め補剛材によって防止されるものと考えられる。すなわち、この斜め補剛材の方向には圧縮力が働くので、腹板は面外方向にたわみやすいが、斜め補剛材を用いることによって、この方向の圧縮強度を飛躍的に大きくすることができる。そのことによって切り欠き部の腹板全体のせん断変形を小さくすることができ、隅角部の腹板の応力集中緩和にも繋がる。

図-6は、やはり隅角部の応力集中を緩和するために下の突出部に穴を開けた場合の解析結果である。隅角部の応力集中は、下の突出部の剛性が大きいために生じるものであり、この部分の剛性を少しでも小さくすれば隅角部の応力集中は緩和されるという考え方のもとに、この部分に犠牲穴を設ける構造案である。この場合、隅角部の応力集中は、

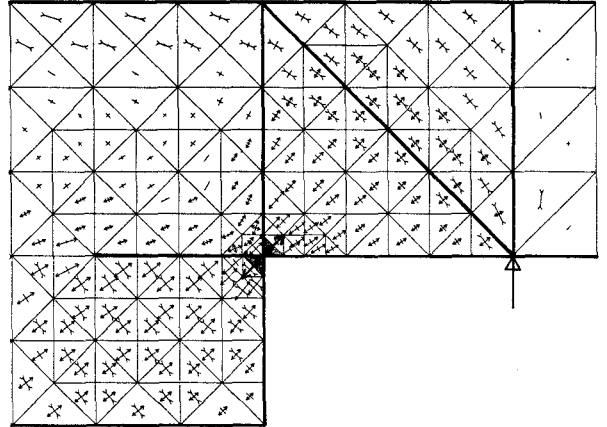


図-5 斜め補剛材を用いた場合
の応力集中解析

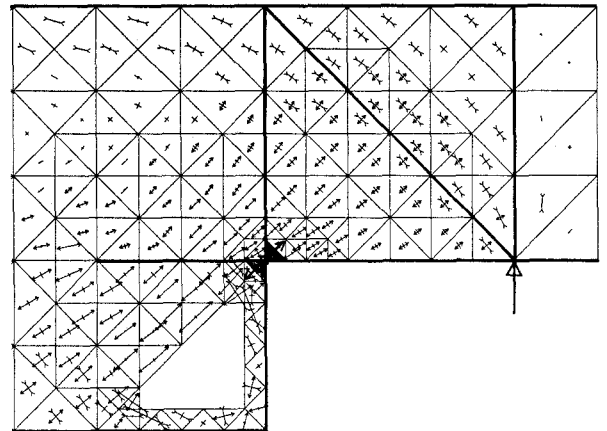


図-6 犠牲穴を設けた場合
の応力集中解析

図-4あるいは、図-5と比較して右上がりの引張応力の流れが隅角部より少し上に移って、約20%軽減されることが判った。しかし、一方では、犠牲穴の近傍に新たな応力集中部を作ることになってしまうが、こちらの応力集中は、隅角部の応力集中より小さくなるように設計することは可能であり問題はないと思われる。応力集中緩和の方策として、犠牲穴を設けるのは外の種々のケースにも応用でき、最適の犠牲穴の位置や大きさ等を更に詳しく検討するのは、興味深い課題である。

5. コーナーリブを設けた場合の解析結果

次に、隅角部にリブを取りつけて補強した場合の有限要素法による解析結果を図-7に示す。リブにはフランジを取りつけているが、その端部は、幅を狭くして(SNIPPING)剛性を小さくし、この部分の応力集中が、起こらないようにしている。リブの半径は $R=150$ (mm)とし、図-2の場合と同じにした。図-7を見ると図-4に見られた隅角部の応力集中は完全になくなっていることが分かる。図-2で見られた直線から曲線に移行する部分での応力集中もここでは見られない。これは、リブのフランジの端部をSNIPPINGして剛性を小さくしたことによる効果であると考えられる。

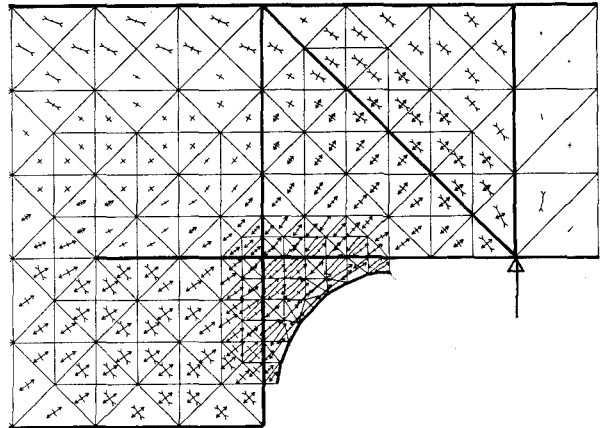


図-7 コーナーリブを取り付けた
場合の応力集中解析

また、図-7では曲線部のフランジと腹板とを離すような大きな応力も働いていない。曲線部の最大応力は、リブのフランジに沿った方向に働いており、この方向の応力に対しては構造物は十分な疲労強度を有しており何ら問題はない。従って、図-7に示したリブによる隅角部の補強による効果は顕著であると言える。

6. 結語

プレートガーダーの腹板切り欠き部の設計に対し、いくつかの設計案について有限要素解析により構造的な検討を行なったが、結論をまとめると次のようになる。

- 1) 疲労損傷を起こした旧設計では、コーナーの円曲線の部分でフランジと腹板とを引き離そうとする応力が働き、これによって亀裂が発生した。
- 2) 曲線部に、円の代わりに楕円の緩和曲線を用いても、この方向の応力はなくなる。

- 3) 現在の標準設計に用いられている構造は、隅角部の腹板に大きな応力集中が存在する。
- 4) 切り欠き部に斜め補剛材を用いても、顕著な効果は現われない。
- 5) 犠牲穴を開けて応力集中を緩和する方法は、ある程度効果がある。
- 6) コーナリブによる隅角部の補強は、その効果が著しい。

ここでの有限要素法を用いた検討では、各種の設計案に対して応力集中の定性的な変化を見ることを目的としたため、定量的な検討はあまりできなかった。たとえば、円の代わりに楕円を用いたり、円の半径を大きくすると応力集中は小さくなることは当然予想されるが、それがどの程度なのかということは検討しなかった。それは、要素の取り方によって応力集中の大きさも異なってくるため、もともと有限要素法ではその種の検討は行ない難いということがあるし、また、非常に影響が大きいと思われる溶接による応力集中はこの種の検討では考慮することができない。従って、ここでは、各種設計案に対する構造的な検討を行なうに留めた。尚、有限要素法プログラムは、NASTRANを用い、計算機は、センチュリーリサーチセンター（株）のCRAYを使用した。

参考文献

- 1) 当麻庄司：プレートガーダー腹板切り欠き部の設計に関する一考察，土木学会第40回年次学術講演会，昭和60年9月．
- 2) 加藤正晴 外：ばん桁端部切り欠き部の応力分布（その1），および（その2），土会第26回年次学術講演会，昭和46年10月．同（その3），土木学会第27回年次学術講演会，昭和47年10月．