

下の仮定を置きます。

(a) コンクリート板の有効厚はサンドイッチコンポジット板の全厚に等しい。

(b) サンドイッチコンポジット板の引張側外板の断面積に等しい鉄筋を2方向に配筋したコンクリート板とする

以上はコンクリート板を有利にする仮定です。以上から本文(5),(6)式により極小値を求めて、サンドイッチコンポジット板の実験結果と比較すると、コンクリート板の押抜きせん断耐力は、サンドイッチコンポジット板の実験値の76%となりました*。

なお、最も重要なことは、コンクリート板の押抜きせん断破壊では、コンクリートが破碎して脱落することです。その時点で水密性は失われます。しかし、サンドイッチコンポジットでは、内部のコンクリートが破碎されても水密性は失われません。

* SR 197 研究資料 No. 390, データは非公開と思われまますのでこの様な記述となりました。

なお、76%なら立派なものだとの意見があるかも知れません。

【討論】佐伯 修君 面外集中荷重に対するPC板の強度は、初期的には押抜きせん断強度で評価しうるとの御趣旨を、興味深く伺いました。

実際の構造物では、PC板のコンクリート厚さやスパン(内部鋼桁の配置)が、実験片とはかなり異なったものがあるので、その挙動も変わるのではないかと思います。また、水中構造物としての水密性を保持する観点から、コンクリート面にひび割れが生じるまでを使用範囲とすべきかとも考えます。

本検討結果を実際のPC板構造物の設計に適用するに際しての考え方について御教示下さい。

【回答】御討論の要点は、1. 破壊挙動、2. ひび割れと使用範囲、3. 適用、の3つと思われます。以下回答させていただきます。

1. 構造形態と破壊挙動

(初期破壊)

ここで初期破壊と呼んでいるのは、荷重を増大させて行った時、最初に生じる荷重低下です。一般的には、支持スパンが短く、コンクリートの厚さが大きいとせん断破壊、その逆だと曲げ破壊が生じると思われます。局部的には、強度と経済性のかねあいから、どちらか一方で破壊するのではなく、この2つの強度が同程度となるの

が望ましいと思われます。本試験片では、押抜きせん断破壊の前に鉄筋が曲げで降伏します。しかし、構造様式、荷重形態によっては、コンクリート板の曲げ破壊、コンクリート板周辺(ハンチ、大骨などとの接合部)での曲げあるいはせん断破壊が生じることもあると考えます。

(破碎後挙動)

コンクリートの破碎後の抵抗をここでは鋼材の張力から求めています。十分な配筋のあるコンクリート板では、コンクリートの破碎領域を仮定して、鋼材によって貫入物が支えられるとする本手法は適用範囲は広いと思われまます。しかし、極端に鋭い貫入物などには適用できません。

2. ひび割れと使用範囲

コンクリート部材に曲げひび割れが生じて、圧縮側コンクリートが圧壊するまでは水密性は保たれます。しかし、繰返し荷重で鉄筋が疲労破壊をおこしたり、鉄筋に大きな塑性歪が生じてひび割れ幅が大きくなったりすると、水密性、耐久性の問題が生じます。また、全断面引張となるような構造部材は、水密性の観点から存在してはなりません。これらのひび割れと水密性、耐久性との問題に関しては、荷重の大きさと頻度に対するひび割れ幅あるいは鉄筋のひずみを規定する必要があるでしょう。しかし、ここで取り扱った荷重は氷荷重を除くと、構造物の一生で何回も加わらないようなものです。そこで、曲げひび割れが生じて水密性は保たれます。一方、せん断破壊が生じると、ひび割れは貫通し水密性が保たれないため、これは生じてはならないと考えます。

3. 設計への適用

本報告は、現行規準類では明確な記述のない特殊な、しかし、海洋では生じそうな荷重状態でのコンクリート板の強度を取り扱っている。計算手法が2つ示されている。示された計算方法には安全率は全く考慮されていない。設計への適用にあたり、限界状態設計法によるなら、初期破壊(押抜きせん断)に関しては、材料係数1.5、荷重係数1.3程度が必要であろう。衝突など(破碎後)に対しては、材料係数1.15、荷重係数0.9あるいは1.1の不利な方が適当であろう。ただし、これは私見である。

最後の問題に関しては、何を荷重とし、何を構造とするかの議論は複雑である。

44 船体梁の縦強度応答に及ぼす剪断変形の影響(第2報)

【討論】岡本忠幸君 本法とF.E.Mによる解の比較は、本法の精度検証が目的ならば、もっと単純なモデ

ルで行うべきではないでしょうか。その理由として、以下の2点が考えられます。

1. 複雑なモデルにすると、境界条件や要素分割の仕方によって、F.E.Mの解の信頼性に問題が生じてくる。

2. 剪断変形の影響による $\Delta\sigma_2$ の存在が、もう一つははっきりしない。つまり、 $\Delta\sigma_2$ の評価が本法の主旨であるから、この $\Delta\sigma_2$ の存在がもっとはっきりしている例題を選ぶべきである。

そこで、本法と F.E.M との比較として、次の2段階の検討を提案します。

その 1. 片持ち薄肉断面箱形梁¹⁾による比較

特に、中央部に集中荷重の作用する場合、荷重点では曲げモーメントが0になるため、剪断変形による $\Delta\sigma_2$ のみとなるので、この断面の直応力分布を比較する。そうすれば、本法の基礎となった倉西他の理論と F.E.M との比較がはっきりしてくる。

その 2. 縦通隔壁のある片持ち薄肉断面箱形梁による比較

前述の例題に、縦通隔壁を持たせ、船体断面のような多重連結領域を有する横断面とし、その 1. と同様の検討をする。

本法の精度の検証は、これで十分であると考えます。

参 考 文 献

- 1) 倉西他；“剪断おくれを考慮した薄肉断面箱形梁の曲げ応力分布”，日本航空学会誌，第3巻，第17号，昭和30年6月，p.14~16.

【回答】 本方法の精度検証を目的とする場合には、全く御指摘のとおりであると思います。現在、比較的単純な断面（非対称 I 型断面、箱型断面）を持つ梁について、荷重状態や支持状態を変えた場合の、基本的な検討を行うことを計画しておりますので、この中に御指摘の事項を取り入れさせて戴きます。なお、今回行った有限要素法による強度計算には、船全体の F.E.M 計算に現在用いられている要素の大きさに比べて、寸法で 1/2 乃至 1/4 の比較的細かい寸法の要素を用いております。

我々は、剪断変形に基づく横断面の「反り」が、現在の船体梁の強度応答にどのような影響を及ぼしているか、と言う事に関心を持ち、先ず撒積貨物船を対象にとりました。従って、有限要素法による計算にも撒積貨物船を採り上げた次第です。

【討論】 平山俊次君（1）本計算法が十分な信頼性を有する事が証明された訳ですが、設計又は応用研究への実用性について、どのような展望をお持ちかお聞かせ下さい。

（2）本論文のテーマに直接関係する質問ではありませんが、有限要素法計算技術上の参考としてお伺いします。

Fig. 13, Fig. 18 の F.E.M による τ は中立軸位置の外板要素の値をそのまま示したものでしょうか。その場合には SUBCASE-2 の上下変位拘束点が近い為に、拘束反力分布（Fig. 6 実線）による乱れが τ にも現われているかと思われます。この点につき御教示下さい。

【回答】（1）「Design by Analysis」の手法が発展して行くと、有限要素法を用いた大規模な全体強度計算が行われることが予想されます。現在でも、例えば油送船については、3乃至5タンクパートにわたる有限要素法による強度計算が行われております。このように、有限要素法による大規模な全体強度計算を行って求められた変形や応力の値および分布の傾向を解釈し、判断する場合に、本論文で明らかにした事柄が役に立つであろうと考えております。また、より直接的には、船体構造を構成する個々の部材の強度を検討するのに適用できるものと考えます。そうすれば、「剪断遅れ」の現象を、単に「有効幅」の概念で考えるだけでなく、「応力分布の特質」として把握できるようになると思います。その為には、岡本忠幸氏の御討論にもお答えしたような基本的な断面を持つ梁について、「反り」の影響を考慮した一連の検討結果が役に立つと考えております。

（2）F.E.M による応力はすべて各要素の要素応力をそのまま表示しました。断面の剪断応力の分布を示した Fig. 12 および Fig. 17 において、支持点の近傍（船側外板とホッパータンク斜板の交点の近傍）で剪断応力の分布に特別な乱れは認められません。従って、特別な平滑化を行う必要は無いと判断しました。

【討論】 梅崎一夫君（1）本論文では、パナマックス型撒積貨物船について二重底部分での側縦桁の数や配置間隔が断面積の総和を一定に保つ限り横断面の反りや付加の応力成分の大きさや分布にほとんど影響を及ぼさないことを示されており、設計者の立場としても大変有益な御研究誠に有難うございました。

（2）今後、他船種についても御検討の御予定等ございましたらお聞かせ下さい。

【回答】（1）現在、パナマックス型撒積貨物船の水平曲げと振り荷重を受ける場合の問題を採り上げて、検討を進めております。また、縦通隔壁と船側外板との間隔が狭くなっている SBT を含む油送船が上下曲げ荷重を受ける場合の問題も採り上げております。

（2）なお、岡本忠幸氏の御意見にもありましたような、I 型断面梁や箱型断面梁について、荷重状態や支持状態を幾つか変えた場合の検討も計画しております。

まとまった知見が得られましたら、改めて報告したいと考えております。