

Behavior in Shear of Steel-Concrete Sandwich Beams under Fatigue Loading

(鋼コンクリートサンドイッチはりのせん断疲労性状)

学位論文内容の要旨

近年、土木構造物において合成構造の適用が増加している。鋼コンクリートサンドイッチ構造は、合成構造の一種で新しい構造形式である。鋼コンクリートサンドイッチ部材は、コアコンクリート、鋼板、せん断補強鋼板、シアコネクタからなる。サンドイッチ部材は、曲げ及びせん断に対して、強度が大きいばかりではなく、高い靱性を有するものである。また、サンドイッチ部材の適用により、型枠のコストの削減及び工期の短縮が可能であり、現在、トンネル、地下連続壁、橋床版、海洋構造物等のあらゆる構造形式への実用化が図られている。

海洋構造物は、波浪荷重を繰返し受けており、橋床版もまた交通荷重を繰返し受けている。荷重振幅が非常に大きい場合には、繰返し荷重によるひび割れの進展、さらには、コアコンクリートの圧縮破壊が起きる。サンドイッチ部材は、鋼板とアングル鋼材との溶接部を数多く有しており、疲労荷重下においては、この溶接部を起点とした疲労ひび割れが発生し、最終的に鋼板が完全に破断することによる破壊が危惧される。これまでに、サンドイッチ部材の静的荷重下における曲げ及びせん断強度に関する研究は多くなされているが、疲労荷重下における強度に関する実験データは著しく欠如している。そこで本研究は、鋼コンクリートサンドイッチはり部材の疲労載荷試験及び非線形有限要素解析を通じて、鋼コンクリートサンドイッチはり部材の疲労性状及び疲労強度を明らかにすることを目的として行った。本研究は、以下に示す4章から構成されている。

第1章は序論であり、研究の背景と目的を述べている。

第2章においては、せん断補強鋼材を持たない鋼コンクリートサンドイッチはりのせん断疲労性状の実験及び解析的な検討を行っている。疲労荷重下においては、最大作用せん断力の大きさによりはり部材の破壊モードが異なることを明らかにした。すなわち、静的にはせん断圧縮破壊を起こすはりでも、最大繰返し作用せん断力が大きい場合(本実験供試体では静的強度の65.5%から82.1%)における破壊モードが、斜めひび割れ間のコンクリートの圧縮破壊であり、最大繰返し作用せん断力が小さ

い場合(本実験供試体では静的強度の49%から63.2%)における破壊モードは、支点における引張鋼板の破断である。引張鋼板の疲労破断強度はせん断ひび割れ発生後に生じる引張鋼板内の局部応力により、気中の疲労破断強度より小さいことを明らかにした。

また、解析的に疲労強度を予測することを目的とし、主として静的载荷を対象として開発された非線形有限要素解析プログラムに、繰返し回数及びコンクリートの応力振幅の増加とともにコンクリートの圧縮強度、引張強度、剛性が低減することを考慮に入れた構成則を組み入れ、本実験供試体の解析を行った。その結果、本解析手法により、コンクリートが圧縮破壊する場合(せん断圧縮破壊モード)の疲労強度を精度良く予測できることとともに、コンクリートの引張強度、ひび割れでのせん断伝達剛性の低下がひび割れの伸展を速め、疲労強度が低下することを明らかにした。

第3章においては、せん断補強鋼材を有する鋼コンクリートサンドイッチはり部材のせん断疲労性状の実験及び解析的な検討を行っている。疲労荷重下においては、タイププレートタイプのせん断補強鋼材を有するはり部材の破壊モードが、最大繰返し作用せん断力の大きさにより異なることを明らかにした。すなわち、最大繰返し作用せん断力が大きい場合(本実験供試体では静的強度の96.1%)における破壊モードは、コンクリートの圧縮破壊(せん断圧縮破壊モード)であり、最大作用せん断力が小さい場合(本実験供試体では静的強度の41.8%から90.4%)における破壊モードは、引張鋼板もしくはせん断補強鋼板のどちらか一方の破断である。また、はり部材中における引張鋼板及びタイププレートの疲労強度は、せん断ひび割れ発生後に急増するはりとしてのせん断変形により生ずる鋼板の局部応力により、気中における疲労強度より小さいことを明らかにした。また、せん断補強材を有する鋼コンクリートサンドイッチはり部材においても、第2章において開発した非線形有限要素解析により、コンクリートが圧縮破壊する場合(せん断圧縮破壊モード)の疲労強度を評価できることを明らかにした。

さらに本章においては、せん断補強材を有するサンドイッチはりにおいてコンクリートが受け持つせん断力が60%程度であることを実験的に明らかにするとともに、そのことを考慮して鉄筋コンクリートはりに対する上田式を修正することにより、繰返し荷重下におけるせん断補強鋼材の平均応力を予測できることを示した。また、サンドイッチはりにおいて鋼板が局所的な応力を受けることを考慮に入れた疲労設計法を構築した。

第4章は結論であり、各章の主たる結果を取りまとめたものである。

学位論文審査の要旨

主査	教授	角田	與史雄
副査	教授	佐藤	浩一
副査	教授	佐伯	昇
副査	教授	城	攻
副査	助教授	上田	多門

学位論文題名

Behavior in Shear of Steel-Concrete Sandwich Beams under Fatigue Loading

(鋼コンクリートサンドイッチはりのせん断疲労性状)

鋼コンクリートサンドイッチ構造は、曲げおよびせん断に対して強度が大きく、高い靱性をもつ合成構造として注目され、海洋構造物、地中構造物、橋床版など幅広い応用が期待されている。その際、波浪や交通荷重などの繰返し荷重を受ける構造物では疲労に対する安全性が重要な課題となるが、サンドイッチ構造の疲労性状とくにせん断疲労性状に関する研究は、従来ほとんど行われていない。本論文は、実験および非線形有限要素解析によるサンドイッチはりのせん断疲労性状に関する研究について述べたものである。

初めに、せん断補強鋼材を持たないサンドイッチはりの疲労実験を行い、静的にはせん断圧縮破壊モードで破壊するはりであっても、最大繰返し作用せん断力の大きさによっては、斜引張破壊または引張補強鋼板の破断による疲労破壊も起こり得ることを明らかにしている。

また、繰返し回数の増加に伴ってコンクリートの圧縮強度、引張強度および剛性が低下することを考慮した非線形有限要素解析法を開発し、それによりせん断圧縮破壊モードによる疲労寿命を精度良く予測できることを、実験結果との比較により示している。

さらに、サンドイッチはりから引張補強鋼板のみを取り出した気中供試体の一軸引張疲労実験を行い、サンドイッチはりの引張補強鋼板の疲労強度は、気中供試体の疲労強度よりもかなり低いことを明らかにするとともに、その原因がサンドイッチはりにおける引張補強鋼板の局部曲げおよびせん断伝達による二次応力にあることを実験および解析的に示している。

次に、せん断補強鋼板を有するサンドイッチはりの疲労実験を行い、静的にはせん断圧縮破壊モードで破壊するはりであっても、引張補強鋼板またはせん断補強鋼板の破断による疲労破壊も起こり得ることを明らかにするとともに、上述の非線形有限要素解析法が、せん断補強鋼板を有するサンドイッチはりに対しても、せん断圧縮破壊モードの疲労寿命の精度良い予測に適用できることを示している。

また、サンドイッチはりにおいてコンクリートが受け持つせん断力は、荷重の繰返し回数に伴って減少し、せん断補強鋼板の負担が増加すること、およびコンクリートが受け持つせん断力は、鉄筋コンクリートはりの場合の約60%であることを明らかにするとともに、鉄筋コンクリートはりに対する上田式を修正することにより、サンドイッチはりの繰返し荷重下におけるせん断補強鋼板の平均引張応力の算定法を提案している。

さらに、サンドイッチはりからせん断補強鋼板のみを取り出した気中供試体の一軸引張疲労実験を行い、サンドイッチはりのせん断補強鋼板の疲労強度は、気中供試体に比べてかなり低いことを明らかにするとともに、その原因がはりとしてのせん断変形に伴う二次応力にあることを示している。

以上の知見に基づいて、サンドイッチはりの引張補強鋼板およびせん断補強鋼板の二次応力を考慮した疲労設計法を提案している。

これを要するに、著者は、従来ほとんど解明されていなかった鋼コンクリートサンドイッチ構造のせん断疲労に関する基本的性状を明らかにするとともに、起こり得る各種破壊モードを考慮した疲労設計法を提案したもので、構造工学の発展に貢献するところ大なるものがある。

よって著者は、北海道大学博士（工学）の学位を授与される資格あるものと認める。