

片持ディープビームの強度検討

荒谷建設コンサルタント 正会員 多賀谷 宏三

荒谷建設コンサルタント 正会員 山下 祐一

1. はじめに

鋼構造物のジャッキアップ工法において、ジャッキアップされる構造体（重量2888tf）を一時的に8ヶ所の支持点で支持する構造が要求された。この支持点は、後の工程において永久構造物の梁の一部とする必要性から、（張出長さ）／（梁高さ）＝0.4のディープビームであった。梁の断面としてはBH936×350×19×32であったが、この断面では曲げに対しては耐力があるが、ウェブのせん断・座屈については耐力が不十分でありさらにジャッキアップ時の偏心による振りに対しても危険であると考えられた。また、スカラップの影響によるウェブの応力集中・フランジの応力状態の変化、ウェブのせん断力分布など設計上不明な点が多かった。以上より単純な片持梁の理論が適用できない可能性が大きいこと、補強検討が必要なことなどから有限要素法による詳細検討を行った。

2. 構造、荷重及び材質

図1に構造と荷重の概要を示す。

前述のように原設計ではI型断面の梁であったが、ウェブのせん断耐力が不足していること及び振れ剛性を向上させる目的から梁の両側面に16mmのウェブを配置し3枚ウェブとした。ウェブの柱側上下端にはフランジ溶接のための40Rのスカラップをとった。また、荷重点直下にはウェブ直角方向にウェブの座屈防止のため19mmのダイヤフラムを取付けた。

荷重は361tfの面荷重であるが、解析上は図に示すようにウェブ及びダイヤフラムのフランジ上面に作用させた。

材質は、柱がSM490B(TMCP鋼)であり、梁を構成する部材はすべてSM490Aである。

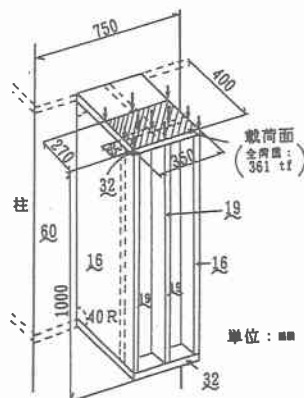


図1 受梁構造及び荷重

3. 解析

解析は板要素三次元弾性有限要素法解析プログラムにより行った。

構造及び荷重が対称であることから、図1の対称軸の左半分について解析を行った。後述する解析結果の代表例(図3～5)に示すように、解析のメッシュ割りは上下フランジの柱との接合部近傍及びウェブのスカラップ周辺は密にした。また、解析の境界条件は、図2に示すように、柱の上下2層の中央部及び柱をはさんだ梁の端部でそれぞれ回転可能な支持とした。これは、あらかじめ実施した骨組計算より柱及び梁の中央部で曲げモーメントがほぼゼロとなることより判断した結果である。

4. 解析結果及び考察

解析結果の評価にあたってはデザインクライテリアの問題がある。荷重特性、材料特性、ジャッキアップ時の作業基準など複雑な要素を多く含むが、ここでは、①ジャッキアップ工程の最後に約30分間ではあるが荷重は確実に作用する、②偏心荷重その他の荷重の不確実さがある、③風荷重が作用する可能性がある(他の作業性・安全性も含め平均風速10m/sで作業中止とし、その風による荷重増加は死荷重の約10%である)、④メッシュ割り、モデル化等を含めた解析精度の問題、などがあり応力的に長期許容応力(主荷重に対する許容応力)程度におさめることとする。

上フランジ及び中央ウェブについて、解析結果の代表例を図3～5に示す。これらの図及び解析で得られた値より次の結果が得られた。

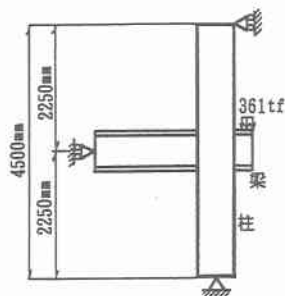


図2 解析境界条件

- 1) 梁端部の鉛直変位及び水平変位はそれぞれ2.40mm及び0.93mm(部材角 1/216)であるので、製作精度も含め、載荷面の対策が必要である。
- 2) スカラップ上の上フランジ上面に約 3200kgf/cm²のミーゼス応力が発生している。これは、梁としての全体曲げにより上フランジに発生する全体引張と、スカラップの存在による局部曲げによるものである。材料の降伏応力は3300 kgf/cm²であるので、モデル化を含めた解析精度、製作精度、荷重誤差等も考慮し改善が必要である。また、単純梁としての計算値は840kgf/cm²であるので従来の梁理論の適用には問題がある。
- 3) 下フランジ下面の柱との接合部付近、ウェブ及びダイヤフラムの荷重面直下の応力は2100~2200kgf/cm²であり問題は無い。
- 4) 中央ウェブのせん断応力 τ_{xy} は上部で約1000kgf/cm²、下部で約900kgf/cm²で、中間部は700~900kgf/cm²となっており問題は無い。
- 5) スカラップ付近の応力集中は大きくない。
- 6) ウェブ及びダイヤフラムは、幅厚比規定及び解析による応力値により座屈を生じない。
5. 対策

上記のFEM解析及び種々の検討により次の対策を講じることとした。

- 1) 載荷面にはクッションとして厚さ2mmの銅板を挿入する。
- 2) 板厚16mmのウェブを梁の両側に配置し(隅肉溶接代は外側にとる)、3枚ウェブとする。
- 3) スカラップ上の局部曲げによるフランジの応力を減少させる目的で、梁の製作法を海洋構造物・大型クレーン・船舶などで採用されているノンスカラップ工法とする。上フランジでスカラップの影響が無くかつ柱に最も近い要素(図3の上から3段目の要素)の応力状態及び上フランジの板厚中心面の応力状態より、ノンスカラップとすれば応力は2100kgf/cm²程度になると推定される。ノンスカラップ梁の製作は工場で行われ、①柱を寝かせた状態での上下フランジの完全溶込み溶接、②ウェブコーナ接合部溶接ビードのグラインダー仕上げ、③中央ウェブの隅肉溶接、④ダイヤフラムの取付け、⑤外側ウェブの取付け、の順序で工事が行われた。

6. 施工管理

事前検討と対応策は以上のとおりであるが、ジャッキアップ中に応力と変位の計測による施工管理を行うとともに今後のデータの蓄積を図った。その結果は次のとおりである。

- 1) 梁端の鉛直変位は0.8~1.0mmで部材角は1/500~1/400であった。
- 2) 応力は、上フランジ上面・下フランジ下面の柱に近い部分、外側ウェブの外側の柱に近い部分で計測しいずれも計算値(上下のフランジについてはノンスカラップとした場合の推定値)の約70~80%であった。計測値で最も大きい値を示したのは上フランジの柱に近い部分で約2200kgf/cm²であった。
7. おわりに

ディーブームの一例についてFEM解析を実施し、実機計測を行った。その結果、①L/D=0.4程度の梁では単純な梁の理論の適用には無理がある、②スカラップの影響は上フランジの応力としてあらわれる、などの結果が得られ、実機計測の結果もほぼ満足できるものであった。今後は系統的な研究により簡易推定法が開発されることが望まれる。

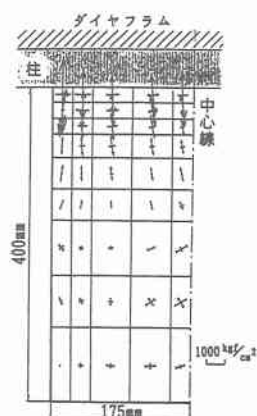


図3 主応力
(上フランジ上面)

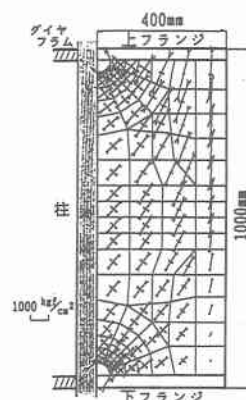


図4 主応力
(中央ウェブ)

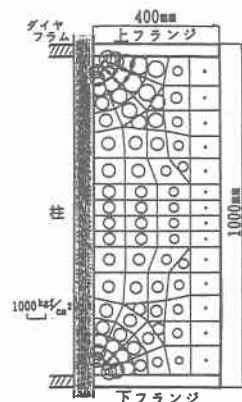


図5 セン断応力
(τ_{xy} , 中央ウェブ)