

サドル1重管構造の性能確認試験

銭高・浅沼・井上・志田特定建設共同企業体 ○正会員 坂本 貴嗣
 鉄道・運輸整備支援機構 北陸新幹線建設局
 工事第二課 長谷川利晴
 鉄道・運輸整備支援機構 東北新幹線建設局
 工事第五課 玉井 真一
 銭高組 土木事業本部 営業・生産本部 橋本 崇

1. はじめに

東北新幹線国道環状7号 Bv は、青森市三内に位置する国道環状7号を横断する PC 4 径間連続エクストラードード橋である。斜材の構成は、エポキシ被覆 PC 鋼より線・グラウト・PE 管の三重防錆とし、主塔側の斜材定着は、実績の多い貫通固定方式のサドル定着を採用した。主塔を貫通するサドルは、斜材の取替を考慮しないため、鋼管にアンカーフランジを取り付けることで鋼管とコンクリートとの付着抵抗力およびアンカーフランジの引抜き抵抗力により固定させる1重管構造を採用した(図-1)。1重管構造については、その性能が明確でないため実物大模型による載荷試験を行い性能を確認した。本報告は、その載荷試験結果について報告するものである。

2. 試験目的

貫通固定方式のサドル定着に対する要求性能は、主塔サドル部設計上の固定条件に対して、施工時～変動荷重作用時～L2 地震時を通して生じる主塔を挟んだ左右の張力差により、斜材がサドル鋼管内で滑らないことが挙げられる。また、この張力差に対してサドル部における各部品(鋼管、アンカーフランジ、スパイラル筋)および主塔コンクリートが健全であることが要求される。サドル1重管構造の力の伝達機構は、主塔を挟んだ左右の斜材に生じる張力差がストランド→グラウト→鋼管へと伝わり、主塔コンクリートへは鋼管との付着抵抗力ならびにアンカーフランジの引抜き抵抗力により伝達される(図-2)。そこで、試験では変動荷重時およびレベル2地震時の張力差を再現し、①張力差を固定する定着構造の安全性、②サドル部における各部品およびコンクリートの健全性を確認することを試験目的とした。

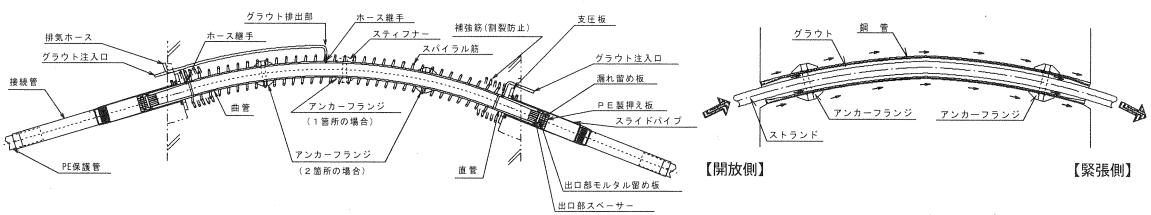


図-1 サドル1重管構造の概略図

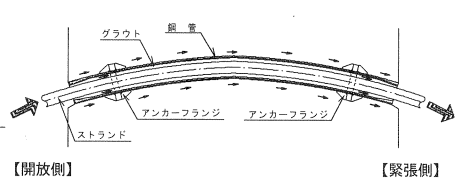


図-2 張力差の伝達

3. 設計

(1) 設計張力差および鋼管の制限値

設計張力差は、変動作用時(常時)およびL2地震時における各最大張力差を設計値とした。その設計値は変動作用時 280kN, L2地震時 3100kNである。また、鋼材の制限値は、損傷レベルを考慮し変動作用時においては鋼材が降伏しないこと、L2地震時は引張強度を超えないことを設計条件とした。

(2) サドル鋼管の設計

アンカーフランジの引抜き抵抗の効果を期待した場合、アンカーフランジ前面における鋼管とコンクリートとの付着は切れていることが想定される。そのため、サドル鋼管の設計は設計張力差を鋼管、ストランド

およびグラウトが負担するように設計を行い、張力差が最大となる L2 地震時の検討において鋼管厚を 15mm とした。

(3) アンカーフランジの設計

アンカーフランジの設計は、設計張力差に対して、アンカーフランジ間の鋼管とコンクリートとの付着による抵抗力と左右 2 個のアンカーフランジ自体の引抜き抵抗力で抵抗することを前提条件とし設計を行った。アンカーフランジ自体の引抜き抵抗力の算定は、アンカーフランジ間の付着抵抗力を差し引いた残りの張力差に対して、①アンカーフランジ支圧面のコンクリートの支圧強度からアンカーフランジ径を算定し、②アンカーフランジのせん断降伏強度からアンカーフランジ厚を算定した。検討の結果、アンカーフランジ径は 235mm、アンカーフランジ厚は 16mm とした。

4. 載荷試験

(1) 供試体製作

図-3 に供試体の構造概要を、写真-1 に供試体の全景を示す。本構造物における供試体の対象箇所は、設計張力差が最大となる最上段とした。

本試験までの製作手順は、まずコンクリート打設後に鋼管内にエポキシ被覆 PC 鋼より線 (27S15.2) を挿入し、コンクリート強度確認後 0.334Pu (2350kN:施工時導入緊張力) まで緊張した。その後、荷重を保持したままグラウトを注入し、所定のグラウト強度 (60N/mm²) 発現後本試験を行った。

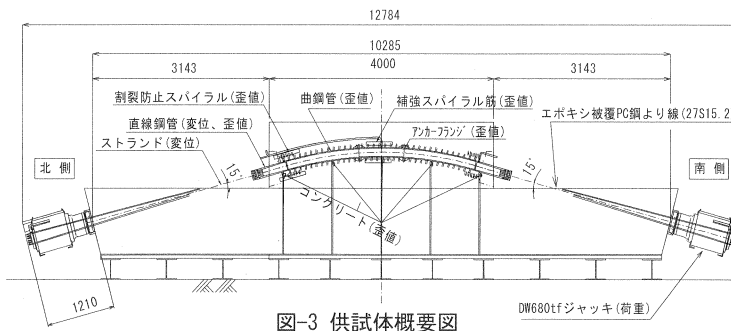


図-3 供試体概要図

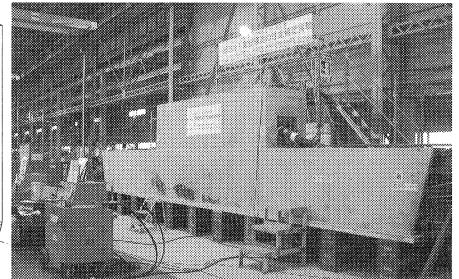


写真-1 供試体全景

(2) 載荷荷重および載荷ステップ

試験における張力差および操作内容を表-1 に示す。設計上、想定される最大張力差は L2 地震時 (ステップ 3) であるが、予備的試験としてストランドの許容緊張力による張力差 (ステップ 4) までを計画した。

(3) 計測項目

計測項目および計測目的を表-2 に示す。

表-1 載荷ステップ表

ステップ	張力差	操作内容
ステップ 1	【変動荷重時張力差】 280kN	南側ジャッキの緊張力を2350kN一定として、北側ジャッキの緊張力を2350kNから2070kNに減少・増加を10回繰り返す。
ステップ 2	【3倍の変動荷重時張力差】 840kN	南側ジャッキの緊張力を2350kN一定として、北側ジャッキの緊張力を2350kNから1510kNに減少・増加を3回繰り返す。
ステップ 3	【L2地震時張力差】 3100kN	北側ジャッキの緊張力を400kN一定として、南側ジャッキの緊張力を2350kNから3500kNに増加・減少を3回繰り返す。
ステップ 4	【PC鋼材の許容緊張力 による張力差】 4900kN	北側ジャッキの緊張力を400kN一定として、南側ジャッキの緊張力を2350kNから5300kNに増加させる。

表-2 計測項目

番号	計測項目	計測目的
①	サドル鋼管ひずみ値	サドル鋼管の上下、側面の複数点のひずみを測定しサドル鋼管の応力伝達を把握する。
②	サドル鋼管およびストランドの移動量	サドル鋼管およびストランドの移動量を測定し、サドル部の定着性能を把握する。
③	アンカーフランジのひずみ値	アンカーフランジのひずみを測定し、応力度に換算して応力性状を把握する。
④	スパイラル筋のひずみ値	割製および補強スパイラル筋のひずみを測定し、応力度に換算して応力性状を把握する。
⑤	コンクリートの支圧応力度	サドル鋼管の軸方向および法線方向のひずみを測定し、コンクリートの支圧応力性状を推定する。

5. 試験結果

(1) 鋼管応力伝達

図-4に鋼管(上側)のひずみ分布図を示す。ステップ3の北側では、ステップ2から緊張力をゆるめたため、鋼管のひずみは北側鋼管出口～北側フランジ間ではステップ2から圧縮ひずみが増加している。北側フランジ～中央間でも、若干ではあるが圧縮ひずみが増加している。これらから、北側の緊張力をゆるめたことによる張力差(1950kN相当)が鋼管中央位置までに伝達されていると考えられる。一方、緊張側である南側は、鋼管のひずみは南側フランジ

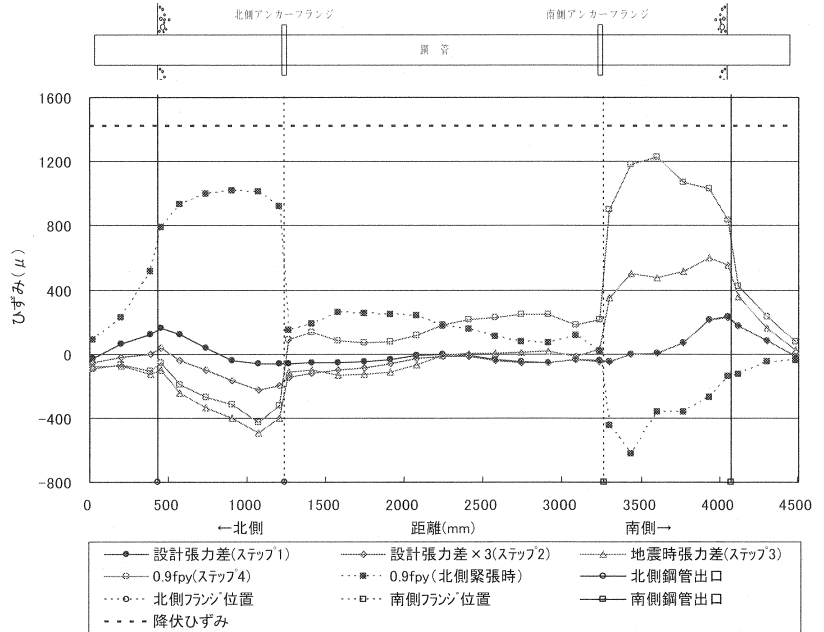


図-4 サドル鋼管(上側)のひずみ分布図

を境にひずみ分布が大きく変化していることからフランジが有効に機能するとともに、鋼管中央位置からアンカーフランジ間において引張ひずみが増加していることでコンクリートの付着により張力差を伝達していると考えられる。

(2) サドル部定着性能

図-5にステップ3および4における南側主塔出口部の鋼管およびストランドの変位量(抜け出し量)を示す。鋼管、ストランドともにステップ3の南側ジャッキ荷重1回目の変位量が元に戻らない状態(ステップ3の初期荷重時の変位量に戻らない)が確認できる(A部参照)。このことから、若干の抜け出しが生じたことが考えられるが、その後の繰り返し荷重時においてはほぼ同じ履歴をたどる結果となっており安全性に支障を及ぼすほどのストランドおよび鋼管の抜け出しは生じていないと考えられる。

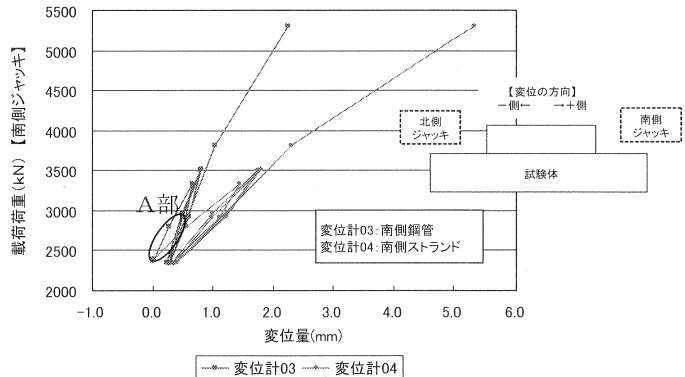


図-5 南側主塔出口部の変位量(ステップ3)

(3) 各部品の応力性状

1) 鋼管

前述図-4に示すように、ステップ1～3におけるひずみ値は降伏ひずみを下回っていることから線形領域内であり、設計で想定される張力差に対する応答は制限値を満足していると言える。

2) アンカーフランジ

図-6に各載荷荷重毎のひずみ変動図(最大時)を示す。鋼管同様に、ステップ1～3におけるひずみ値は降伏ひずみを下回っていることから線形領域内であり、また、繰り返し荷重時のひずみは同じ履歴をたどる結果となっていることから測定個所以外のアンカーフランジ全体において線形領域内であることが想定でき

る。一方、最大張力差であるL2地震時の南側アンカーフランジが受け持つ力は、アンカーフランジを挟んだ鋼管軸方向ひずみ差が500 μ 程度(図-4参照)であることから力に換算して740kN相当を負担していることとなる。この時のせん断応力度(アンカーフランジと鋼管との接触面積で除した値)は、90N/mm²であり、せん断降伏強度135N/mm²以内であることが確認できた。

3) スパイラル筋(補強スパイラル筋、割裂防止スパイラル筋)

補強スパイラル筋は、サドル鋼管に一樣に配置された補強スパイラル筋と鋼管出口部の割裂防止スパイラル筋についてひずみ値を測定した。L2地震時における最大引張応力度は、北側ジャッキ開放時(図-7)のアンカーフランジ近傍の補強スパイラル筋で生じた。これは、アンカーフランジ前面の鋼管軸方向コンクリート応力が圧縮になることから直角方向に配置されている補強スパイラル筋は引張応力が生じたと考えられる。しかし、発生応力度は鉄筋の降伏強度に比較すると小さいことが確認できた。また、割裂防止スパイラル筋については発生応力度は小さいが、施工時から完成時を通して鋼管出口部のコンクリートの剥離に対して有効と考える。

(4) コンクリートの健全性

鋼管廻りのコンクリート応力の測定は、鋼管軸方向および法線方向に丸鋼のひずみを測定し、コンクリート応力に換算した。その結果、鋼管下側の法線方向支圧応力はステップ4 載荷時に最大1.7N/mm²となり、小さい応力しか発生しないことが確認された。これは、ストランドが鋼管を押し下げようとする向心力が、鋼管面で分散されたためと推測される。

コンクリートのひび割れや剥離に関しては、目視確認の結果、鋼管出口部およびアンカーフランジ近傍には有害となり得る損傷は見られず良好な状態が確認できた。

6. まとめ

ステップ1~3における左右の斜材に生じる張力差は、ストランド→グラウト→鋼管へと伝わり、鋼管とコンクリートとの付着抵抗ならびにフランジの引抜き抵抗により主塔コンクリートに円滑に伝達されていた。ストランドおよび鋼管のずれは、ステップ3において発生したが、繰返し載荷によるずれの増加は見られなかったことから橋体の安全性には問題ないことが確認できた。また、鋼管やアンカーフランジの発生応力は降伏強度以下であり、コンクリートにもひび割れの発生や圧縮破壊、剥離等の損傷も見受けられなかったことから各部品およびコンクリートの健全性が確認できた。

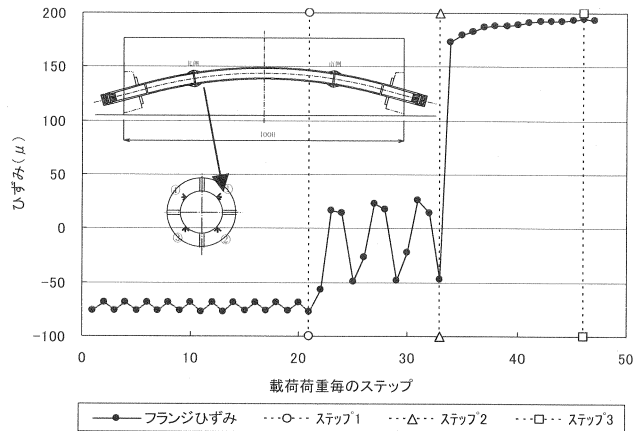


図-6 アンカーフランジひずみ変動図

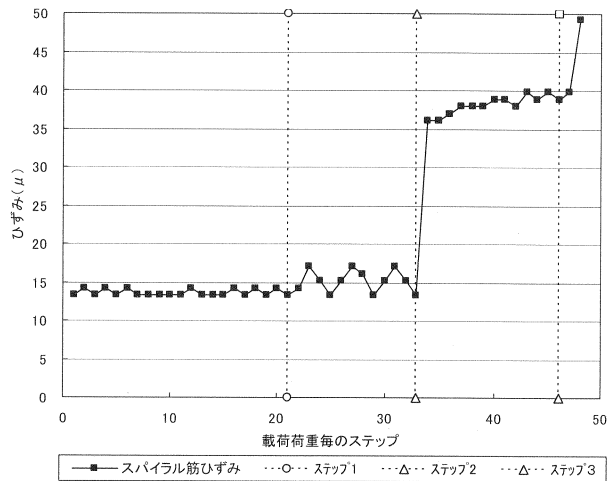


図-7 補強スパイラル筋ひずみ変動図