

R C床版と鋼フランジ間の付着と スラブアンカーによるせん断抵抗の評価

Shear strength of slab-anchor and adhesion fixing a non-composite girder bridge's slab

山田真幸*, サトーン ペンポン**, 三木千壽***, 市川篤司****, 入部孝夫*****
YAMADA Masaki, Satorn PENGPHON, MIKI Chitoshi, ICHIKAWA Atsushi, IRUBE Takao

* 工博, 東北大学助手, 工学研究科 (〒980-8579 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉 06)

** 工修 東京工業大学大学院博士後期課程, 理工学研究科 (〒152-8552 東京都目黒区大岡山 2-12-1)

*** 工博 東京工業大学教授 工学部土木工学科 (〒152-8552 東京都目黒区大岡山 2-12-1)

**** 工博 東京工業大学教授 工学部土木工学科 (〒152-8552 東京都目黒区大岡山 2-12-1)

***** (株)東京鐵骨橋梁 技術本部 技術開発部技術開発課 (〒108-0023 東京都港区芝浦 4-18-32)

The non-composite plate girder bridge has no shear connectors between the slab and upper flange. But practically, it behaves as the composite plate girder bridge because of adhesion and slab-anchors between slab and upper flange. In this case, it became problems that the strength of adhesion is not clear and slab-anchor is not designed to transmit shear force. So we carried out push out test and cyclic loading test to evaluate the shear strength of connection between slab and upper flange.

Key Words: steel plate girder bridge, RC slab, Non-composite girder, field test, proof loading, connector, brace block

1. まえがき

我が国の道路橋で最も一般的な形式であるRC床版付非合成連続桁橋梁は、その殆んどが合成桁橋梁として挙動していることが報告されている^{1)~6)}。また、筆者らは供用中の非合成桁橋梁で載荷試験を行い、この“非合成桁橋梁の合成挙動”が設計荷重に相当する載荷レベルにおいても保たれていることを示した⁷⁾。

非合成桁橋梁では設計上、床版と主桁とは結合される必要はない。しかし実際には地震時や車両の衝突時等に床版が主桁からずれ落ちることを防止するために主桁上フランジにはスラブアンカーが溶接されており、これらが打設される床版コンクリートに埋め込まれることによりRC床版が上フランジに固定される。また、打設されるコンクリートの付着力により床版と上フランジとが結合していることが考えられる。これらの結合要素によりRC床版と主桁とが一体となり、既設の非合成桁橋梁は実際には合成桁橋梁として挙動していると考えられる。

既設の非合成桁橋梁を合成桁橋梁とみなして使用することが可能であれば、設計値以上の実耐荷力を期待できる。しかし非合成桁橋梁の床版と上フランジとの結合は上載荷重により床版と上フランジ間に発生するせん断力の伝達を考慮したものではないことから、その耐荷力、疲労特

性等は不明である。この“非合成橋梁の合成挙動”を考慮した既設非合成桁橋梁の実耐荷力は、床版と上フランジとの結合に依存するものであるから、これらを明らかにすることは重要である。

そこで本研究では、既設のRC床版非合成桁橋梁を対象とし、スラブアンカーおよび付着による床版と上フランジとの結合のメカニズム、耐荷力、疲労特性等を明らかにすることを目的とする。

2. 床版と上フランジとの結合の試験法

合成桁橋梁の床版と主桁との結合に代表される鋼部材とコンクリート部材とのせん断力の伝達部には頭つきスタッドに代表される機械的なずれ止めが用いられている。これらの静的強度および疲労強度を評価する実験方法として押抜き試験があり、日本鋼構造協会が標準試験方法を示している⁸⁾。ここに示される両側押抜き試験は片側押抜き試験、曲げによりせん断力を発生させる桁試験に比べ実験が容易でせん断力の評価が簡明であることから多くの研究が行われている^{9)~12)}。この中には非合成桁のスラブアンカーを機械的なずれ止めとして用いる試みもみられる⁹⁾¹⁰⁾。これらのずれ止めによる結合の静的強度、疲労強度を対象とした研究では、ずれ止めによる機械的結合のみ

を対象とする目的でずれ止め周辺の鋼板にグリス等を塗布し、コンクリートの付着によるせん断力の伝達を防止しているものが多数見られる⁸⁾¹⁰⁾¹⁴⁾。また、道路橋示方書¹⁵⁾においても結合面の許容せん断応力はずれ止めのみの耐荷力により決定することが規定されており、コンクリートと鋼との複合構造においては一般的に付着力を結合要素として扱わない。しかし道路橋示方書¹⁵⁾にフランジ上に1m間隔以下で配置することが規定されている非合成桁橋梁のアンカーの数を、同程度の合成桁橋梁に配置される頭つきスタッドの数と比較すると非常に少ない、にもかかわらず非合成橋梁として設計された橋梁が実際には合成桁として挙動していることから、この“非合成桁橋梁の合成効果”に付着力による結合が少なからず寄与しているものと考ええる。

そこで本研究ではアンカーによる機械的結合の他に、床版コンクリートと鋼フランジ間の付着による結合を研究対象に含むこととする。

2.1 押抜き試験体

このような状況を受け、本研究ではJSSC頭付きスタッドの押抜き試験方法(案)とスタッドに関する研究の現状⁸⁾を参考に、RC床版と上フランジとの結合をモデル化した押抜き試験体を製作し破壊性状、疲労特性等を検討した。その際本研究ではコンクリートの付着による結合の破壊強度はスラブアンカーによる結合のそれを大幅に下回ることが考えられたためにせん断面を文献(8)より広い片側500×200mmとした。押抜き試験の概要を図-1に示す。試験体はH型鋼を2つのコンクリートブロックで挟む形となっておりせん断面は図-2に示す6種類とした。フランジ中央にアンカーを配したもの、およびせん断面全てがコンクリートの付着のみで結合されているもの各々に、施工時の汚れ等により上フランジ面に発生する可能性が有る剥離の影響を検討する目的で10、20%の剥離を設けたものを製作した。これらに加え比較としてフランジ全面に剥離を作りアンカーのみでせん断力を伝達する試験体を作成した。記号はアンカー無し付着100%のものをN-100、アンカー有り付着無しものをA-NB（アンカーの有無・付着の有無）などと表記した。

アンカーには図-3に示すよう溶接部に近い根元にひずみゲージを貼付した。剥離はフランジ面に紙製のクラフトテープを貼り、その上にグリスを塗布して作成した。スラブアンカーは480×φ13mmの丸鋼を用いた実物大のものを製作し隅肉溶接で取付けている。丸鋼一本の引張り試験による降伏強度は48.1kNであった。

道路橋の施工では1960年代以降、製鋼工場で鋼材をショットブラストしてジンクリッチプライマーを塗布した原板を橋梁工場で加工、中塗り塗装し、現場で架設、床版の打設後、上塗り塗装を施す工法が確立されている¹⁶⁾。その際一般的に上フランジ面はマスキングされ、床版打設までプライマー塗装のままである。近年では、エッチングプライマーを用いることが多いが、本研究では既設の非合成桁橋梁を対象としていることからフランジ面はブラ

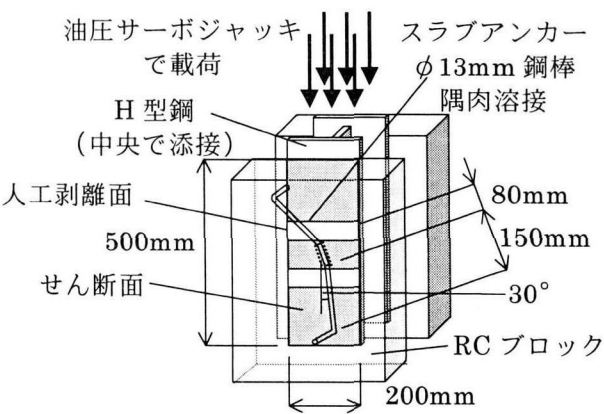


図-1 押抜き試験概要

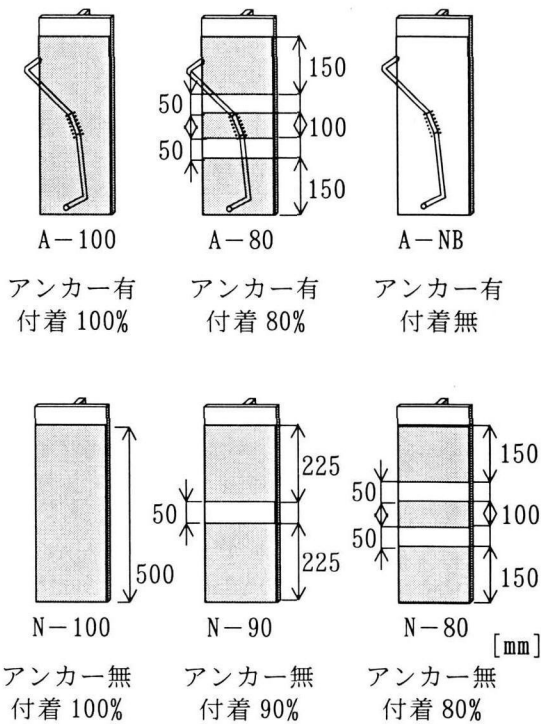


図-2 押抜き試験体せん断面種類

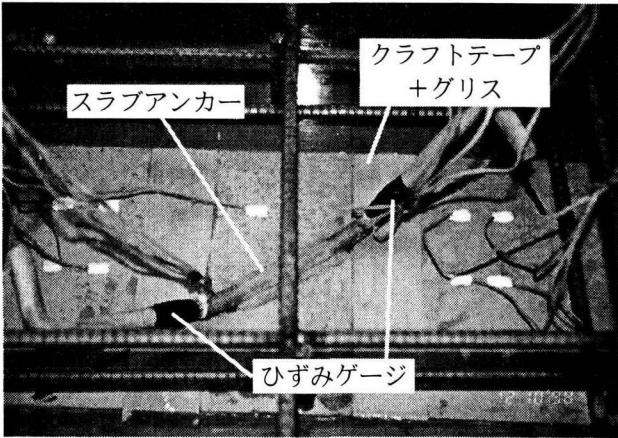


図-3 押抜き試験体せん断面

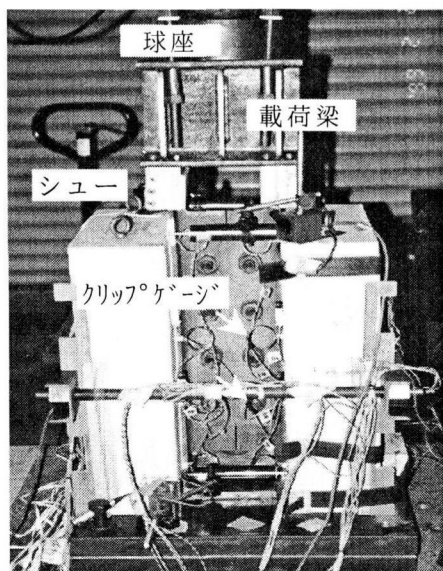


図-4 押抜き試験装置

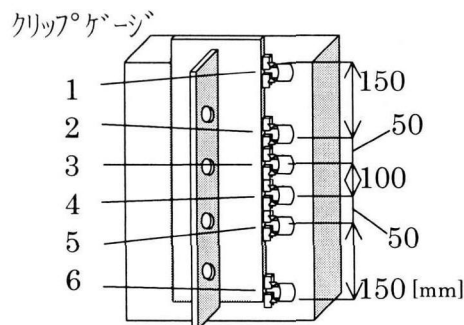


図-5 クリップゲージ取付け位置

ト処理後ジンクリッチプライマー塗装を施した。ジンクリッチプライマーの膜厚は平均で $28\mu\text{m}$ 、中心線平均粗さは $9.41\mu\text{m}$ であった。

コンクリートは普通ポルトランドセメントを用い設計基準強度 21MPa 、最大粗骨材寸法 20mm 、水セメント比 $w/c=61.8\%$ の配合とした。圧縮強度の平均値は 29MPa であった。打設はブリージング等の影響を考慮し、ウェブで2分割したものを実橋と同様にせん断面が上を向くよう型枠を設置して行った。

2.2 試験装置および試験方法

試験装置を図-4に示す。添接板によりフランジ中央で結合した試験体を水平な載荷台上に設置し、载荷梁を介して油圧サーボジャッキにより载荷した。载荷梁とジャッキとの間には球座、試験体との間にはシユーをとりつけ、試験体に圧縮力以外の力が加わらないように配慮した。試験体をP C鋼棒とチャンネル材で囲っているが、破壊時に試験体の崩壊防止のためであり、せん断面に対して鉛直方向の力は導入していない。

試験体には载荷に伴うフランジと床版との相対ずれ変位を測定するため、フランジのエッジおよびその極近傍のコンクリートにブラケットを介して6個のクリップゲージを取付けた。取付け位置を図-5に示す。

試験は载荷荷重をゼロから試験体が破壊に至るまで、あるいはジャッキの荷重が出力限界の 300kN に至るまで単調に増加させる押抜き試験とした。また、この試験の結果を受けて繰返し载荷を行い、繰返し载荷の影響を観察した。

3. 押抜き試験の結果と考察

3.1 アンカー、付着の有無による破壊形態の違い

図-6に付着のみの結合である試験体 N-100、アンカーのみの結合である試験体 A-NB および付着とアンカーと

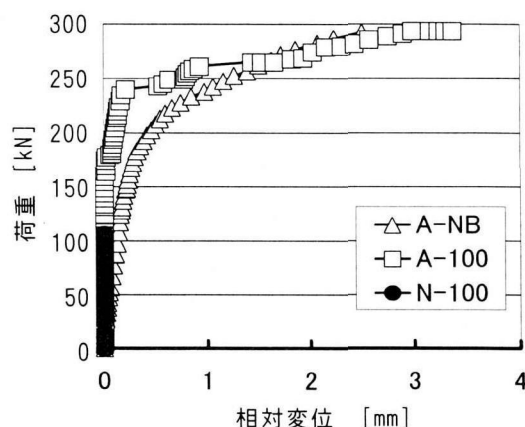


図-6 静的試験荷重相対変位曲線
(4mmまで表示)

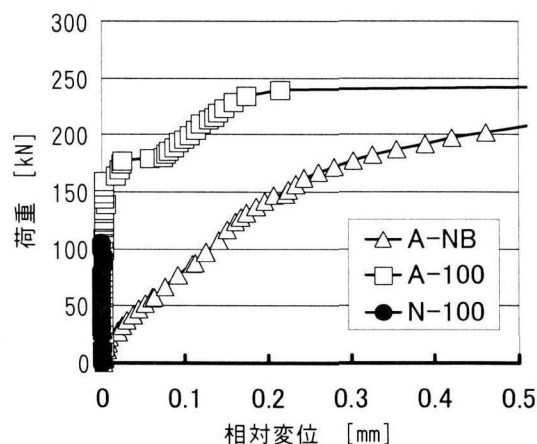


図-7 静的試験荷重相対変位曲線
(図-6の横軸について0-0.5mmを拡大)

の両方の結合である試験体 A-100、計3体の床版・フランジ間の相対変位を示す。グラフにはアンカーのほぼ真横に位置するクリップゲージ3、あるいは4の値を示した。

アンカーの無い試験体 N-100は約 100kN の载荷まで相対変位をほとんど生じず、また際立った前兆も無く急激に破壊した。試験後、H型鋼のせん断面を観察するとプライマーは剥離せず、塗装面にモルタルがわずかに残っていることから、破壊はフランジ面の極近傍のモルタル層で生じ

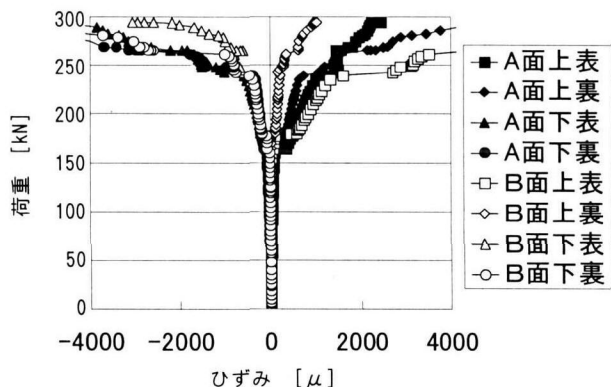


図-8 試験体 A-100 アンカーひずみ

表-1 静的押抜き試験結果

試験体	付着面	アンカー	初期ずれ剛性* [MPa/mm]
A-100	100%	有	40.9
N-100	100%	無	33.6
A-NB	0%	有	6.7

*剥離面積を考慮せず約0～40kNで計算

たといえる。破壊後のフランジ面に模様等の不均一はなくほぼ一様であった。一方アンカーの有る A-NB および A-100 はジャッキの最大出力 300kN の荷重でも分離しなかった。

図-6 からは A-100 では約 240kN, A-NB では約 200kN の載荷で、相対変位が急激に増加し、アンカーが降伏したことがわかる。その変位は約 1mm と小さく、また相対変位が約 1.5mm を超えると両者にほとんど差は見られない。

次に図-6 の横軸を拡大したものを図-7 に示す。アンカーと付着との結合である試験体 A-100 に注目すると先に示した約 240kN 付近に見られる荷重・相対変位曲線の傾きの変化の他に、およそ 160kN においても傾きの変化がみられる。また 160kN 以下では試験体 N-100 と同様に相対変位がほとんど生じていないことがわかる。

ここで図-8 に A-100 のアンカーのひずみを示す。A-100 では約 160kN 付近までアンカーにひずみがほとんど生じていないことがわかる。これらのことから A-100 の約 160kN の載荷でみられた荷重・相対変位曲線の傾きの変化は付着の破壊によるものであるといえる。

付着の破壊以降はアンカーのみにせん断力が伝達されることが考えられるが図-7 において A-100 の付着の破壊以降に注目すると急激に A-NB にシフトすることなくアンカーの降伏まで穏やかに変位が増加している。

ここで図-6、図-7 に示す荷重・相対変位曲線の傾きを剥離面積を含まない見かけのせん断面積で除したものをずれ剛性と定義し以下で用いる。表-1 に上述の 3 試験体の付着が破壊した荷重、および載荷の初期で計算した初期ずれ剛性を示す。アンカーの有無にかかわらず、付着があるものは非常に大きなせん断剛性を有していることがわ

表-2 アンカー無試験体静的押抜き試験結果

試験体	最大荷重 [kN]	最大せん断 応力*[MPa]	初期ずれ剛性 **[MPa/mm]
N-100	105	0.53	33.6
N-90	88	0.49	34.5
N-80	81	0.51	36.4

*剥離面積を考慮し付着面のみで計算

**剥離面積を考慮せず約0～40kNftで計算

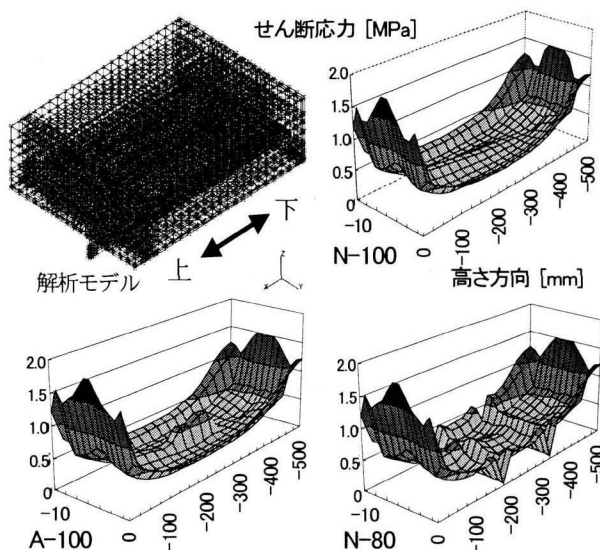


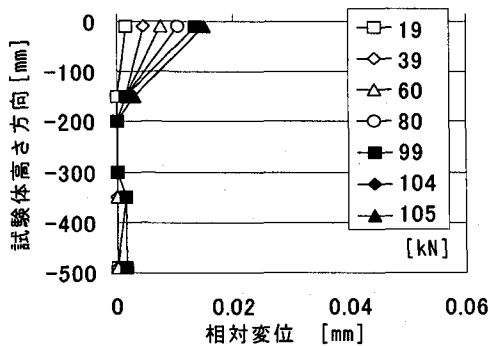
図-9 せん断面上下方向せん断応力分布解析値

かる。アンカーには付着の破壊までほとんどひずみが生じないことから、付着が破壊しないレベルの載荷では主に付着によりせん断力が伝達されているといえる。

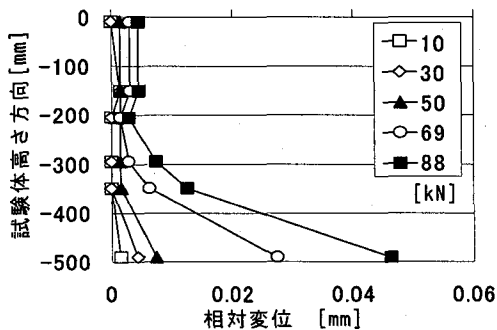
3.2 付着の耐荷力

付着の破壊前後で大きく挙動が異なることから付着の耐荷力を把握することは重要である。表-2 に付着のみ試験体が破壊した荷重等を示す。試験体全体の付着が破壊した荷重は平均せん断応力で考えると人工剥離の有無によらず 3 試験体でほぼ等しく、0.5MPa 程度であった。しかし付着による結合は非常にせん断剛性が高く、また急激に破壊することから全体の破壊は応力の高い部分で発生した破壊に支配されていることが考えられる。そこで FEM 解析によりせん断面に発生するせん断応力分布を求めた。解析対象は N-100, N-80 および A-100 とし、付着面に平均せん断応力 0.5MPa が発生するよう 100kN を載荷した状態を解析した。

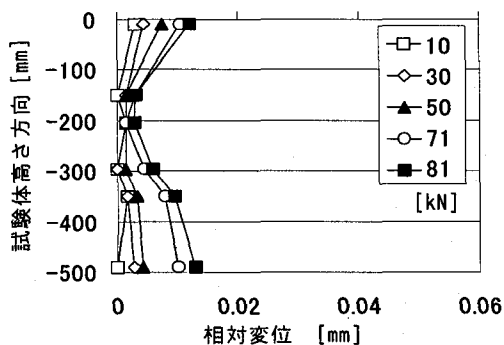
解析には汎用 FEM プログラム MARC6.3¹⁷⁾ を用いた。解析は線形解析とし、モデルは RC ブロックとフランジとの境界を共通節点とし厚さ方向に出来る限り細かく要素分割した。また弾性係数比 $n = E_s/E_c$ が約 7 となることから応力分布を考慮して境界のコンクリートの要素厚と鋼の要素厚の比が約 7:1 となるように要素分割した。剥離面は二重節点とし、添接板もモデル化した。アンカーおよび鉄



(a) N-100



(b) N-90



(c) N-80

図-10 アンカー無し試験体相対変位分布

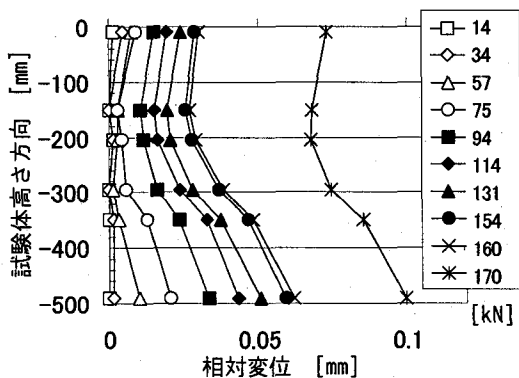


図-11 試験体 A-100 試験体相対変位分布

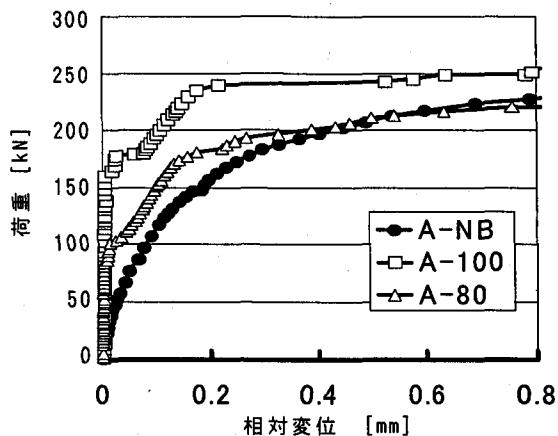


図-12 剥離のあるアンカー有り試験体
静的試験荷重相対変位曲線

表-3 アンカー有り試験体静的押抜き試験体結果

試験体	付着の破壊荷重[kN]	最大せん断応力* [MPa]	アンカーが降伏した荷重[kN]
A-100	160	0.80	240
A-80	105	0.63	180
A-NB	—	—	150~200

*剥離面積を考慮し付着面のみで計算

ものと考えられる。本解析ではせん断面上端で平均せん断応力のおよそ4倍となっており、局所的には平均をかなり上回るせん断応力が発生していると考えられる。このことから端部の応力集中が無い、あるいは少ない実際の場合には付着のせん断強度は約0.5MPaよりさらに大きい可能性がある。

ここで図-10(a)~(c)にアンカーの無い N-100, N-90 および N-80 の载荷にともなう一連のクリップゲージにより測定された相対ずれの分布を示す。またアンカーが有る A-100 の相対ずれの分布を図-11に示す。これらは複数のクリップゲージで計測した相対ずれを载荷荷重約 20kN ごとにプロットしたものである。

この付着の破壊は一見脆性的であるが、相対変位の分布に着目すると全体が破壊するより前に応力集中が生じていると考えられる試験体の上端、あるいは下端から相対変位が増加し、付着面全体の破壊に至っている。相対変位が急激に増加し始め、付着が破壊したと考えられる相対変位はアンカーの無い試験体では0.02mm程度、アンカーが有るものでも0.05mm程度と非常に小さい。

3.3 付着の破壊に対するアンカーと剥離の影響

アンカー周辺に20%の人工剥離を導入したA-80と付着が100%有るA-100の载荷にともなう床版・フランジ間相対変位を図-12に、付着の破壊荷重等を表-3に示す。A-NBの値は比較として示した。

A-80ではアンカーを持たない試験体と同程度の約100kN程度の荷重で付着が破壊したが、A-100では約

筋はトラス要素としてRCブロック中でモデル化を行った。

解析結果を図-9に示す。せん断面上端および下端部で平均せん断応力に比較してかなり大きなせん断応力が生じているが、H型鋼の変形および試験体全体の変形による

表-4 押抜き試験体疲労試験結果

試験体	スラブ アンカー	人工 剥離面	荷重範囲 [kN]	せん断応力 範囲*[Mpa]	スラブアンカー破壊 までの繰返し回数
A-100	有り	無し	10-130	0.05-0.65	122.5万回で破壊
A-100	有り	無し	10-80	0.05-0.4	200万回で破壊せず
A-80	有り	20%	10-80	0.0625-0.5	600万回で破壊せず
A-NB	有り	全て	10-80	—	147万回で破壊

*剥離面積を考慮し付着面積のみで計算

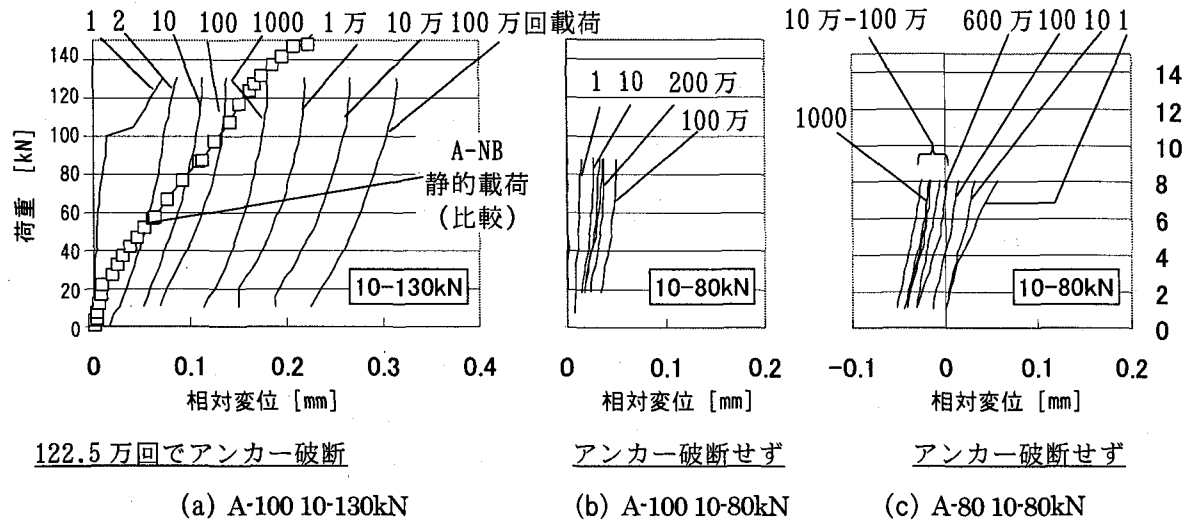


図-13 繰返し荷重に伴う床版-フランジ間相対変位の変化

160kN程度の荷重まで付着による結合が作用している。このときの平均せん断応力は表-3より0.8Mpaとなりアンカーの無い試験体で得られた付着のせん断強度を上回る。これらのことからアンカー周辺の付着による結合が試験体全体の強度に大きく影響しているものと考えられる。

4. 繰返し荷重による影響

アンカーと付着による床版-主桁間の結合強度の評価と同時に、繰返し荷重による疲労の有無の検討は重要である。そこで同じ諸元を持つ試験体を用いて繰返し荷重による疲労試験を行った。試験装置は押抜きせん断試験と同じものを用い、荷重はスラブアンカーの無い試験体で繰返し荷重をすることを意図して80kN(平均せん断応力で0.4MPa)および130kN(0.65MPa)を最大荷重とし、10kNを最小荷重とする片振幅とした。

4.1 繰返し荷重試験の結果と考察

スラブアンカー無し試験体は全て1回、あるいは2回の荷重で破壊し、繰返し荷重は出来なかった。結果的に繰返し荷重を行った試験体は全てスラブアンカー付の試験体であった。アンカー付の試験体の疲労試験結果を表-4に示す。また繰返し荷重による相対変位の変化を図-13(a)~(c)に示す。比較としてアンカーのみの結合であるA-NBに10-80kNで繰返し荷重を行ったが147万回でアン

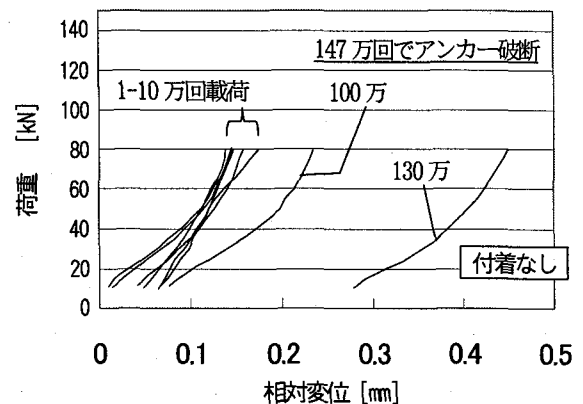


図-14 繰返し荷重に伴う床版-フランジ間相対変位の変化 (比較 A-NB)

カーが破断した。図-14に繰返し荷重による相対変位の変化を示す。

付着を有する試験体で、アンカーが疲労破壊したものは10-130kNで繰返し荷重を行ったもののみである。図-13(a)に示すこの試験体の荷重相対変位曲線の変化に注目すると、1回目と2回目以降の曲線形状が明らかに異なる。1回目の荷重の100kN付近で相対変位が急増しておりここで付着が破壊していると考えられる。2回目以降では直線的な荷重-相対変位関係となった。付着の破壊以降せん断

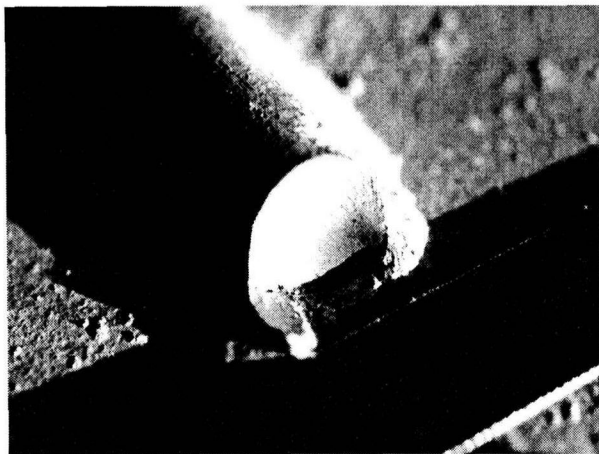


図-15 破断したスラブアンカー

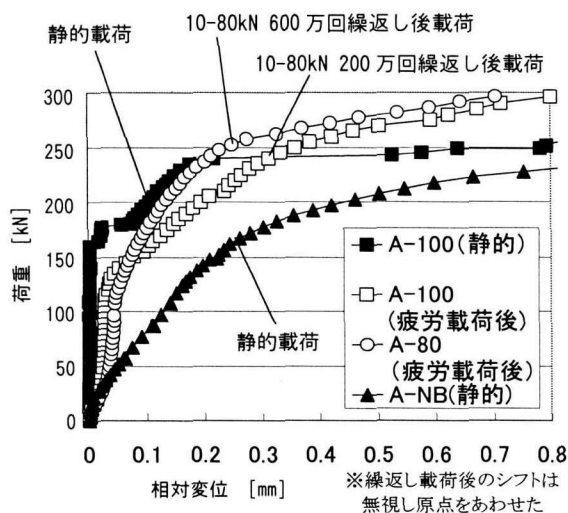


図-16 繰返し載荷試験後の押抜き試験
荷重相対変位曲線

力は、アンカーのダウウェル作用およびせん断面の摩擦等によりせん断力が伝達されと考えられるが、そのせん断剛性は図-14と比較してかなり大きい。123万回でアンカーが破断したが摩擦等の影響で応力振幅が小さく疲労破壊が遅延したものと考えられる。上方向に伸びるアンカーの根元で破断した。破断したアンカーを図-15に示す。

図-13(b)はA-100に10-80kNの載荷を行ったものであるが、ここではアンカーは200万回の繰返し載荷で破壊しなかった。同様に図-13(c)はA-80に10-80kNの載荷を行ったものであり600万回でアンカーは破断しなかった。これらでは若干の残留変位が見られるが非常に小さな値であることから図-14の残留変位と比較して0.05mm程度のずれは測定誤差、あるいはコンクリートのクリープと判断した。

4.2 繰返し載荷後の押抜き試験結果と考察

繰返し載荷 200 万回以上を経過して破壊に至らない試験体は、静的試験と同様に荷重を漸増させて破壊、あるいは

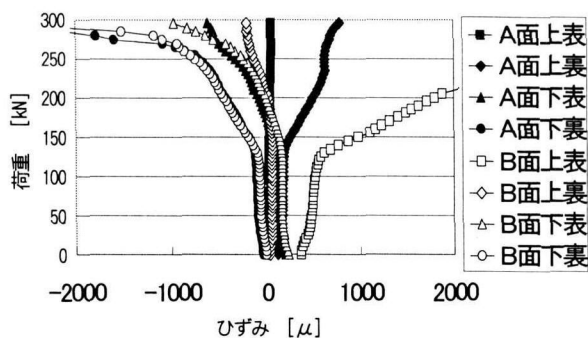


図-17 試験体 A-100 スラブアンカーひずみ
(200 万回載荷後)

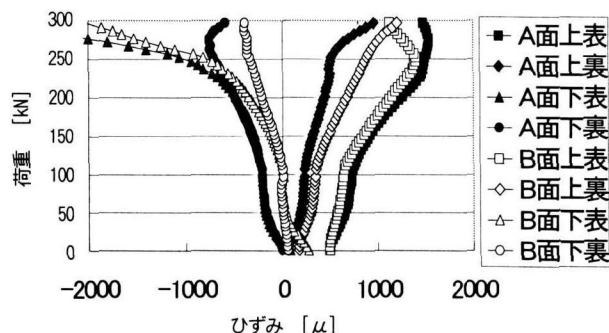


図-18 試験体 A-80 スラブアンカーひずみ
(600 万回載荷後)

はジャッキの限界荷重の 300kN まで載荷を行った。

A-100に10-80kNで200万回、およびA-80に10-80kNで600万回載荷繰返し載荷を行った試験体について結果を図-16に示す。比較として先に示したA-100, A-NBの押抜き試験結果を同時に示した。

A-100, A-80で似通った曲線形状となった。両試験体ともに約120kNまで非常に大きなせん断剛性を示し、以降付着の破壊と見られる剛性の変化がみられた。

約50-100kNの載荷領域では静的試験結果に遜色ない非常に高いせん断剛性を示したが、載荷初期に若干づれ剛性の低い領域領域がA-80, A-100双方においてもみられた。300kNまでの静的載荷後アンカーを切断し、せん断面を観察したが、A-100, A-80ともにアンカーの根元近傍のコンクリートが粉状になっており、A-100, A-80ともに若干のずれが生じたと考えられる。

次に載荷試験におけるスラブアンカーのひずみの変化を図-17および図-18に示す。A-100では相対変位曲線の傾きが変化した120kN付近以降からアンカーのひずみが増大し始めており、載荷の初期に若干のひずみの増加があるものの各々の曲線形状は図-9のA-100静的試験の結果に近く、ここからも繰返し載荷後も付着が存在していたといえる。A-80においても同様に50-100kN付近のひずみの増加は少ない。約120kN付近で曲線の傾きが変わっておりここで付着による結合は破壊したものと考察する。

5. まとめ

本論文では押抜き試験体による静的載荷、および繰返し載荷により既存非合成橋梁の床版-フランジ間の結合強度を検討し、その挙動、強度および疲労特性等を評価した。

得られた成果を要約すると以下ようになる。

(1) スラブアンカーと付着による床版-フランジの結合では付着のずれ剛性が非常に大きく、アンカーの有無にかかわらず付着の破壊まではアンカーに応力が生じない。

(2) 付着が破壊する平均せん断応力は0.5Mpa程度であるが応力集中を考えるとさらに大きな耐荷力を持つ可能性がある。

(3) 付着による床版-フランジの結合は静的に破壊する半分程度の200万回の繰返し載荷で破壊しなかった。

(4) 付着の破壊後も床版-フランジ間のずれ剛性は比較的大きく摩擦等の影響が考えられる。

これらより付着とアンカーによる結合は付着が破壊しない程度の繰返し荷重下では疲労せず、高いずれ剛性を有する結合であるといえる。また本実験結果から床版-フランジ間に付着が破壊してしまうレベルの繰返し荷重が発生している場合には付着のみならずアンカーが疲労破断してしまうことが考えられる。よって実際の非合成桁橋梁では合成状態が保たれていることから、主に付着による結合で床版とフランジとが一体化し合成桁橋梁として挙動していると考察する。

謝辞：本研究は文部省科学研究費補助金（基盤研究（A）

（1）代表：三木千壽）の補助を受けて実施されたことをここに記して謝意といたします。

参考文献

- 1) 多田安夫, 中村正平, 篠原洋司: 活荷重合成ゲタ橋の大型模型実験, 土木研究所報告, No.116, Vol.4, 1962.1
- 2) 藤原 稔, 村越 潤, 鹿嶋久義: 鋼プレートガーダー橋における応力測定結果に関する報告, 構造工学論文集, Vol.37A, pp.1181-1188, 1991.3
- 3) 新延泰生, 矢島基臣, 菅原 莊: 実測たわみに基づく橋桁の剛性評価に関する研究, 土木学会論文集, No.435/VI-15 pp.35-41, 1991.9

- 4) 高橋昭一, 志村 勉, 橋 吉宏, 小西哲司: P C床版2主桁橋「ホロナイ川橋」の設計および解析・試験検討, 橋梁と基礎, pp.23-30, 1994.2
- 5) 三木千壽: 鋼橋の技術開発, 橋梁と基礎, 1997.8
- 6) 高幡智孝: 上面増厚工法により床版を補強した既存橋の補強効果, 長大技報, No.6, pp.20-33, 1997.9
- 7) 三木千壽, 山田真幸, 長江 進, 西 浩嗣: 既設非合成連続桁橋の活荷重応答の実態とその評価, 土木学会論文集, No.647/I-51, pp.281-294, 2000.4
- 8) 社団法人日本鋼構造協会: 頭つきスタッドの押抜き試験法(案)とスタッドに関する研究の現状, JSSCテクニカルレポート No.35, 1996.11
- 9) 大西竜浩, 中島章典, 溝江慶久, 小滝 功, 西園広之, 大江浩一: スラブ止めの押し抜きおよび桁試験における静的荷重ずれ性状と疲労強度, 土木学会第51回年次学術講演会講演概要集, I-A, pp.876-877, 1996.9
- 10) 中島章典, 溝江慶久, 廣田 篤, 吉原知佳, 西園広之, 大江浩一: 押抜きおよび桁試験によるスラブ止めの水平せん断ずれ性状と疲労強度の検討, 構造工学論文集, Vol.44A, pp.1505-1514, 1998.3
- 11) 平城弘一, 松井繁之: スタッドの新しい適用方法の提案, 土木学会第52回年次学術講演会講演概要集, I-A, pp.232-233, 1997.9
- 12) 平城弘一, 松井繁之, 武藤和好: 柔な合成作用に適するスタッドの開発, 構造工学論文集, Vol.44A, pp.1485-1496, 1998.3
- 13) 中島章典, 池川真也, 山田俊之, 阿部英彦: ずれ止めの非線形挙動を考慮した不完全合成桁の弾塑性解析, 土木学会論文集, No.537/I-35 pp.97-106, 1996.4
- 14) 中島章典, 阿部英彦, 岸 省治, 斎藤 崇, 宮田 明: 合成桁ずれ止めの水平せん断伝達性状に着目した実験的研究, 鋼構造年次論文報告集, 第1巻 pp.669-676, 1993.7
- 15) 社団法人日本道路協会: 道路橋示方書・同解説 I 共通編, 1996
- 16) 片脇清士: 橋と塗装 橋を美しくまもる, 山海堂, 1996
- 17) MARC Analysis Research Corporation: Rev. 6.0 VOLU ME A~E, 1994

(2000年9月14日 受付)