## 橋桁架設時のサンドルの安定性に関する基礎的研究

Fundamental study on the stability of saddle in bridge girder erection

高橋 弘樹\*, 大幢 勝利\*\*, 高梨 成次\*\*\* Hiroki Takahashi, Katsutoshi Ohdo, Seiji Takanashi

\*博士(工学),(独)労働安全衛生総合研究所研究員,建設安全研究グループ(〒204-0024 東京都清瀬市梅園 1-4-6) \*\*博士(工学),(独)労働安全衛生総合研究所上席研究員,建設安全研究グループ(〒204-0024 東京都清瀬市梅園 1-4-6) \*\*\*工修,(独)労働安全衛生総合研究所主任研究員,建設安全研究グループ(〒204-0024 東京都清瀬市梅園 1-4-6)

> In the construction of a bridge girder, a temporary structure called a saddle is often used. The saddle is composed of multiple stacked steel H-beams, each having a width and height of 150mm. The vertical load was acted the saddle due to the weight of the bride girders. The saddle member might become deformed by this load. After removing the load, the deformation might remain. This deformation is known as residual deformation. The slightly deformed saddle members are used repeatedly as well. However, there is no management standard for the saddle. In this study, the influence of residual deformation on the stability of the saddle was examined and a management standard for the saddle was proposed.

Key Words: Bridge girder erection, Saddle, Stability, Residual defomation キーワード:橋桁架設,サンドル,安定性,残留変形

## 1. はじめに

橋桁を施工する際、橋桁の仮受け台として、サンドル と呼ばれる仮設構造物が使用されている.サンドルは、 高さと幅が150mmのH形鋼に鋼板を部分的に溶接した 部材(以下、サンドル材)を基本単位とし、これを井桁 状に積み上げて使われている. 建設工事現場で使われて いるサンドルを図1に示す.サンドル材を高く積上げる と不安定となる恐れはあるが、組み立て方と構造が単純 でサンドル材の運搬がしやすいなどの利点があり、多く の現場で普及している.

サンドルには、橋桁の自重などにより過大な鉛直荷重 が作用するが、この鉛直荷重によってサンドル材が変形 し、荷重を除去した後も変形が残ることがある. この変 形は,残留変形と呼ばれている.サンドル材の残留変形 を図2に示す.サンドル材の残留変形は、橋桁の自重な どの圧縮力の影響により、図2のようにサンドル材の接 合部分(H型鋼のフランジ)で発生することが多い.



(a) 橋桁を支えるサンドル 図1 建設工事現場で使われているサンドル



仮設構造物は,経済的な理由などから,一般的に変形 等の程度がそれほど大きくないと考えられるものは,再 使用している<sup>1)</sup>.サンドル材も繰り返し使われており, 中には残留変形のあるサンドル材が再使用されること もある.仮設構造物の中には足場のように,変形等の程 度により管理基準が定められているものもある<sup>1)</sup>.しか し、サンドルには,このような管理基準はない.

サンドルは橋桁を支えるため、その安定性が問題とな るが、残留変形を含むサンドルの安定性については、こ れまで主に作業員や技術員の経験や勘によって管理さ れてきた.しかし、熟練労働者が減少していることもあ り、これまでのようにサンドルの安定性に対して、経験 や勘に頼ることが難しくなっている.一方で、過去には 組み上げたサンドルが橋桁工事中に崩れ、15名が死亡す るという事故も発生している<sup>2</sup>.

このため、サンドルの安定性に関する定量的なデータ の提供が望まれているが、サンドルの安定性について検 証した研究<sup>3,4,5,0</sup>は余りなく、サンドル材の残留変形が サンドルの安定性に及ぼす影響は明らかにされていな い.

本論文では、サンドルの安定性を確かめる基礎的な研 究として、サンドルの荷重の伝わり方に及ぼすサンドル 材の残留変形の影響を調べ、サンドル材の管理基準を示 した.

## 研究の方法

研究の方法としては、まず、サンドルの安定性を確か めるため、建設工事で一般的に使用されているサンドル 材を対象として実験を行い、サンドルの頂部に鉛直荷重 が作用した場合のサンドル内の荷重の伝わり方を調べ た.しかし、実在のサンドル材は、鋼板を溶接する際の 初期不正などの影響により、初期形状のばらつきが大き いため、残留変形をパラメータとして、サンドルの安定 性に関する定量的なデータを実験により得ることは難 しい.このため、残留変形がサンドルの安定性に与える 影響については、数値解析によって検討を行った.数値 解析は、構造解析などで広く使われている有限要素法を 用いた.実験結果を数値解析と比較し、解析の妥当性を 確かめ、更に、サンドル材の残留変形をパラメータとし て、数値解析を行った.

## 3. サンドルの荷重伝達に関する実験と数値解析の比較

#### 3.1 実験概要

実験に用いたサンドル材の寸法を図3に示す.実験に 用いたサンドル材は、建設工事で一般的に使用されてい るサンドル材の中から、鋼板の配置位置と設置数を考慮 して、橋桁の自重などによる鉛直荷重に対して強度が小 さいと考えられるものを選んだ.サンドル材のH型鋼と

![](_page_1_Figure_9.jpeg)

図4 サンドルの実験の状況

平板の鋼材は、一般構造用圧延鋼材のSS400 である. サ ンドルは、一般の建設現場で組まれている組み方を参考 にして,最上段のみサンドル材を2列,それ以外は3列 として、7段目まで井桁状に組み上げた. 最上段の上面 には、2列のサンドル材の幅を一辺とする厚さ21mmの 鋼板を載せた. このサンドルに対して 21mm の鋼板の上 面から約1,000kNの鉛直荷重を作用させた.サンドルの 実験の状況を図4に示す.サンドルは通常、弾性変形範 囲の荷重を想定して使用しているため、今回は、通常想 定される弾性変形範囲の荷重を与えて検討を行った.荷 重計は、図4に示すように、サンドルの段の間に設置し、 1回の実験で1段ごとに置き換えて、最上段から、上か ら7段目(以下,単に7段目とする.)まで鉛直反力を計 測した.荷重計については、サンドルの最上段と2段目 の間に設置した場合は6箇所,それ以外の段の間に設置 した場合は9箇所で計測を行った.荷重計を設置した以 外のサンドルとサンドルの間は, FI0T の高力ボルトで 連結させた.実験は,結果がばらつくと予想されたので, 4回行った.

## 3.2 解析概要

解析に用いたサンドルを図 5 に示す.数値解析には, 汎用有限要素解析プログラムの ANSYS を用いた.有限 要素には,局部的な変形を含む3次元挙動が表現できる 10節点4面体アイソパラメトリックソリッド要素を使用 した.材料は等方性の弾性体とし,鋼材はSS400として,

![](_page_2_Figure_3.jpeg)

図5 解析に用いたサンドル

ヤング係数は 205,000N/mm<sup>2</sup>, ポアソン比は 0.3 とした. サンドル材の寸法は,実験の場合と同じである.サンド ルの組み方は,実験と同じように,最上段のみサンドル 材を 2 列,それ以外は 3 列として,7 段目まで井桁状に 組み上げ,最上段の上面には厚さ 21mmの鋼板を載せた. サンドルの最下面の拘束を固定として,サンドルに載せ たプレートの上面から 1,000kN の鉛直荷重を作用させ た. 解析モデルは,解析時間短縮のため,垂直方向で面 対称となるようなハーフモデルとした.

#### 3.3 実験結果と解析結果の比較

図6に示す各段のサンドル材a, b, cの荷重反力(負担力)を $R_a R_b$ ,  $R_c$ とする.実験結果においては、荷重計の測定結果より、次式のように、負担力 $R_a R_b$ ,  $R_c$ を求めた.

$$R_a = R_{a1} + R_{a2} + R_{a3} \tag{1}$$

$$R_{b} = R_{b1} + R_{b2} + R_{b3} \tag{2}$$

$$R_c = R_{c1} + R_{c2} + R_{c3} \tag{3}$$

ここで, *R<sub>al</sub>*,*R<sub>a</sub>*, *R<sub>a</sub>*, *R<sub>b</sub>*, *R<sub>b</sub>*, *R<sub>b</sub>*, *R<sub>c</sub>*, *R<sub>c</sub>*,

また,解析結果より,サンドル材a,b,cの荷重反力 $R_a$ ,  $R_b,R_c$ を調べた.図7に2,4,6段目の下面における,サン

![](_page_2_Figure_13.jpeg)

ドル材の負担力 $R_a, R_b, R_c$ の荷重P(1,000kN)に対する比率 を示した.  $R_{abc}/P$ の値が大きいほど,そのサンドル材に 荷重が集中していることを示す. 図7(a)は実験1回目, また,解析結果より,サンドル材a, b, cの荷重反力 $R_a, R_b, R_c$ を調べた. 図7に2,4,6段目の下面における,

サンドル材の負担力 $R_a$ ,  $R_b$ ,  $R_c$ の荷重P(1,000kN)に対する (b)は実験2回目, (c)は実験3回目, (d)は実験4回目の結 果であり, (e)は実験1~4回目の平均値と解析結果の比 較である.

1回目と2回目及び平均値は、2段目の中央に位置す るサンドル材bのR<sub>b</sub>/Pの値が大きくなっている.2段目 のサンドル材bは、載荷点の直下に位置し、予めこのサ ンドル材に荷重が集中することが予想された.3回目は、 4段目のサンドル材bのR<sub>b</sub>/Pが最も大きくなっている. これは、実験前から存在した4段目のサンドル材bの変 形が原因で、4段目の荷重計b2に荷重が集中したためで あると考えられる.この結果から、変形の残ったサンド ル材の影響により、1つのサンドル材に荷重が集中する ことが確かめられた.また、4回目は、他の実験に比べ、

R<sub>abc</sub>/Pの変動幅が少なく、サンドル材 a, b, c が荷重を均 等に負担しており、このようなパターンがあることも分 かった.実験の平均値と解析値を比較すると、4.6段目 の解析値は、実験値よりも中央に位置するサンドル材 b に荷重が集中している. これは、実験前から存在したサ ンドル材の変形などが影響したためと考える. 4,6段目 の解析結果は、実験結果よりも、荷重が中央のサンドル 材bに集中し、荷重が分散していない、これは、サンド ル材の負担力が、サンドル材の残留変形などの影響でば らついたためであると考える.しかし、最も荷重の集中 する2段目のR/Pは、解析値、実験値共に0.6程度であ り、ほぼ同じ値であった、2段目は、載荷点の直下に位 置することから、他の段に比べて最も初期不整の影響が 出にくいと考えられる. この段の解析結果が,実験結果 とよく対応していることから、実物のサンドル材に初期 不整などがなければ、解析結果は実物のサンドル全体の 荷重の伝わり方に対して、妥当な値を示す可能性がある と考える.

## 4. 残留変形がサンドル材の荷重負担に及ぼす影響

## 4.1 解析モデル

ここでは、残留変形のあるサンドル材の基本的な荷重 の伝わり方を確かめるため、残留変形のあるサンドル材 がどれだけの荷重を負担するかを調べた.

解析に用いたサンドル材を図8に示す.解析に用いた サンドル材は、3章で用いたものと同じ寸法であり、2 段目まで組み上げ、最上段の上面には、厚さ21mmの平 板を載せた。サンドルの最下面の拘束を固定として、サ ンドルに載せたプレートの上面から1,000kNの鉛直荷重 を作用させた.解析モデルは、解析時間短縮のため、垂 直方向で面対称となるようなハーフモデルとした.

#### 4.2 残留変形のモデル化

サンドルに及ぼす残留変形の基本的な影響を調べる ため、残留変形は、2 段目のサンドル材の内、1 体のみ にあると仮定した.また、橋桁の自重などにより鉛直荷 重が作用してサンドル材が変形する場合、圧縮力の影響 により図2のようにサンドル材のH形鋼のフランジが変 形する場合が多くみられる.この変形形状を考慮して、 残留変形は、上下のサンドル材間の接触面積をパラメー タとして設定した.サンドルの最上段と2段目の接合部 間に厚さ 2mm の薄板を挿入し、この薄板の面積を調整 することにより、接触面積を変化させた.解析は、次の 2パターンについて行った.

パターン I:挿入した薄板の内,外側一方の薄板面積 のみを調整した場合,即ち,2段目のサンドル材の内, 外側一方のサンドル材のみに残留変形があると仮定し た場合 (図 9(a))

パターンII: 挿入した薄板の内, 中央の薄板面積のみ

![](_page_3_Figure_13.jpeg)

図8 解析に用いたサンドル

![](_page_3_Figure_15.jpeg)

(a) パターンI
(b) パターンII
外側一方のサンドル材
中央のサンドル材
に残留変形がある場合
図9 サンドルの残留変形の位置

![](_page_4_Figure_0.jpeg)

図10 面積を調整した薄板

を調整した場合,即ち,2段目のサンドル材の内,中央 のサンドル材のみに残留変形があると仮定した場合(図 9(b))

面積を調整した薄板については、部材が繰り返し使われることにより生ずる変形形状を想定して、図10に示すような変形補助線を仮定し、この変形補助線に沿って図中の*l*,*h*の長さを調整して薄板の面積を調整した.

## 4.3 サンドル材の接触面積の割合と荷重の負担割合

残留変形のあるサンドル材がどれだけの鉛直荷重を 伝えるかを調べるため、接触面積の割合を*R*<sub>s</sub>,残留変形 を考慮したサンドル材(以下,このサンドル材を「変形し たサンドル材」とする)の荷重の負担割合を*R*<sub>v</sub>として次 のように定義し、これらの関係について検討を行った.

$$R_s = \frac{S}{S_0} \tag{4}$$

$$R_{\nu} = \frac{V}{V_0} \tag{5}$$

ここで, S: 薄板の面積, S<sub>0</sub>: 欠けた部分のない薄板の 面積, V: 薄板が面積 S のときの変形したサンドル材の荷 重反力, V<sub>0</sub>: 薄板が面積 S<sub>0</sub>のときの変形したサンドル材 の荷重反力を示す.

 $R_s$ は、 $0\sim1$ の値をとり、1のときはサンドル材同士が 全面に接して残留変形がない場合(薄板の面積に欠けた 部分がない場合)を表し、0のときはサンドル材同士が全 く接していない場合を表す.また、 $R_v$ は $0\sim1$ の値をと り、1のときは変形したサンドル材が残留変形のない場 合と同じ荷重を負担することを表し、0に近づく程、変 形したサンドル材は鉛直荷重を負担しないことを表す.

## 4.4 解析結果

接触面積の割合  $R_s$  と変形を考慮したサンドル材の荷 重の負担割合  $R_v$ の関係を図 11 に示す.

パターンIIでは、薄板の面積*S*を小さくしても、変形 したサンドル材の荷重の負担割合は、あまり減少せず、  $R_{s}=0.1$ で $R_{s}=0.97$ 程度の値であった. パターンIでは、

![](_page_4_Figure_13.jpeg)

図12 サンドル材の残留変形の基準

R<sub>5</sub>=0.3 以下で R<sub>v</sub>の値の差が大きくなっており, R<sub>5</sub>=0.2 より小さい場合では R<sub>v</sub>=0.70 程度となった.従って,外 側一方のサンドル材に残留変形がある場合は,サンドル 材の接触面積の割合が 20%より小さくなると,残留変形 がない場合に比べて 30%程度,荷重の負担割合が低下す る.このことから,図12に示すように,リブプレートの 設置位置を中心としてリブプレートの厚さ 9mm の4倍程度よ り平らな部分が少ない(接触面積の割合が 20%以下の場合)サン ドル材は,使用に注意が必要である..

# 5. 残留変形がサンドルの構造全体の安定性に及ぼす影響

#### 5.1 解析モデル

図5に示す解析モデルを用いて、残留変形がサンドル の構造全体の安定性に及ぼす影響を検討した.サンドル 材の寸法と組み上げ方、及び荷重条件は、3章と同じと した.また、残留変形の設定は、4.2節と同じとし、サ ンドルの最上段と2段目の接合部間に厚さ2ミリの薄板 を挟み、図9に示す2パターンについて解析を行った.

## 5.2 サンドル内の荷重の伝達

サンドル材の負担荷重の均等性を、平均負担荷重に対 する最大負担荷重の値 Rvmとして、次のように表し、解 析結果の値から、残留変形がサンドルの安定性に及ぼす 影響について検討した.

$$R_{vm} = \frac{V_{\text{max}}}{V_a} \tag{6}$$

ここで、*V<sub>max</sub>*:図13に示すサンドル材*a*,*b*,*c*の内の荷 重反力の最大値、*V<sub>a</sub>*:図13に示すサンドル材*a*,*b*,*c*の荷 重反力の平均値を示す.

R<sub>wm</sub>は、1以上の値になり、R<sub>wm</sub>が1のときは、サンド ル材 a, b, c の負担荷重が同じ場合であり、サンドル材 a, b, c が均等に荷重を負担して最も安定した状態を表す. R<sub>vm</sub>の値が大きくなるほどサンドル材 a, b, c の内の1体 に荷重が集中することを示す。サンドル材間の接触面積 の割合 R<sub>s</sub>と平均負担荷重に対する最大負担荷重の値 R<sub>vm</sub> を図 14(a), (b)に示す.(a)は、外側一方のサンドル材に残 留変形がある場合(パターンI)の結果を示し、(b)は、中央 のサンドル材に残留変形がある場合(パターン II)の結果 を示した. R<sub>vm</sub>は、サンドルの 2, 4, 6 段目を示した.

2 段目の R<sub>w</sub>の値は、4、6 段目の R<sub>w</sub>の値より大きく なった. これは、サンドルの上に載せた2列のサンドル 材の幅を一辺とするプレートの上面から荷重を作用さ せたので、プレートの真下に位置する2段目の中央のサ ンドル材に荷重が集中したためであり、3章の実験結果 と同じ結果である。しかし、下の段になるほど、R<sub>m</sub>の 値は小さくなり、荷重は均等に分散されている. 残留変 形の大小の影響を見ると、パターン I では接触面積比 R。 が小さくなるほど R,mの値が大きくなっている. パター ンIIではR<sub>s</sub>が小さくなるほどR<sub>m</sub>の値が小さくなってい る. パターン I の場合は、外側一方のサンドル材のみに あった残留変形の影響で、R,が小さくなるに従い中央の サンドル材に荷重が集中したためである. パターンⅡの 場合は、中央のサンドル材のみにあった残留変形の影響 で, R,が小さくなるに従い中央のサンドル材の荷重の負 担が減り、荷重が両端のサンドル材に分散されたためで ある. しかし, R<sub>m</sub>の変動幅は, 最も大きいパターンⅡ の2段目で0.2程度であり、下の段になるほどRmの変 動幅は減っている. このため, 残留変形の大小がサンド ルの安定性に及ぼす影響は、少ないと考える.

## 5.3 鉛直荷重の偏心

残留変形の影響により、サンドルに作用した鉛直荷重 が偏ってサンドル内を伝わり、サンドルの安定性に影響 を及ぼすことが考えられる.この鉛直荷重中心の偏心距 離の割合 g<sub>e</sub>を次のように定義し、残留変形がサンドルの 安定性に及ぼす影響を検討した.

![](_page_5_Figure_8.jpeg)

ここで, e: サンドル平面の中央から鉛直荷重中心Gまでの距離, u: サンドル平面の端から中央までの距離を示す. G は, 図 13 に示すサンドル材 a, b, c のそれぞれの荷

![](_page_6_Figure_0.jpeg)

図 15 鉛直荷重中心の偏心距離の比 ge とサンドル材の接触面積比 R<sub>s</sub>の関係

重反力から計算した.

 $g_e$ は、 $0\sim1$ の値をとる。0のときはGがサンドル平面 の中央に位置することを表し、サンドルが最も安定した 状態を示す。 $g_e$ が1に近づく程Gがサンドル平面の端 に近づき不安定な状態となる。

鉛直荷重中心の偏心距離の比  $g_e$  とサンドル材間の接触面積の割合  $R_s$ の関係を図 15 に示す. なお, パターン II は,中央に位置するサンドル材間の接触面積のみを調整したので偏心が発生しないことから,計算はパターン I のみ行った.

 $R_s$ の値が小さいほど  $g_e$ の値が大きくなった.特に  $R_s$ が 0.15 より小さい場合は、 $g_e$ の値が大きい.しかし、この場合でも、 $g_e$ は 0.03~0.05 程度と数値は小さく、鉛直荷重中心Gのサンドル平面の中央からの距離 e は小さい.従って、残留変形がサンドルの安定性に及ぼす影響は僅かであると考える.

## 6. まとめ

サンドルの安定性に関する基礎データを得ることを 目的として、サンドル材の残留変形がサンドルの安定性 に及ぼす影響を検討した.その結果をまとめると次のよ うになる.

- 実験結果は、初期不整などの影響により、ばらつきが 見られた.しかし、載荷点直下の最も初期不整の影 響が出にくい2段目のサンドル材の実験結果は、解 析結果によく対応した.従って、解析結果は実物の サンドル材に初期不整がなければ、実物のサンドル 全体の荷重の伝わり方に対して、妥当な値を示す可 能性があると考える.
- 2. サンドル材間の接触面積が 20%未満になると, サンドル材の鉛直荷重の負担割合は, 接触面積が 100%の 場合(残留変形がない場合)に比べ, 30%程度低下する

ことが分かった.しかし、この場合でも、残留変形 の存在が本論文で検討した範囲のサンドル1部材の 場合は、残留変形がサンドル全体の性能に及ぼす影 響は僅かであり、サンドルに橋桁などを載せても転 倒するなどの可能性は少ないと考える.

- ただし、念のため図 12 に示すように、リブプレートの設置位置を中心としてリブプレートの厚さ(9mm)の4倍(36mm)程度より平らな部分が少ないサンドル材(サンドル材間の接触面積が20%未満となる場合)は、使用しない方が良いと考える。
- 4. これらのことより、極端な変形を生じたサンドル材を 除外するなど、サンドル材を適切に管理すれば、サ ンドル材の残留変形はサンドルの安定性に大きな影響は及ぼさないと考える.また本来、サンドルは橋 梁が載っても弾性変形の範囲内で使用することが想 定されている.サンドルを使用する際は、橋桁の重量などを考慮し、サンドルに残留変形が残らないように、出来るだけ十分な数のサンドルを使用した方 が良いと考える.
- 5. 今回は、通常想定される弾性変形範囲内のサンドル材 について検討を行った. 今後は、より安全側の検討 として、塑性変形を含めたサンドル材の強度につい て検討する必要があると考える.

## 謝辞

本研究に使用したサンドルは,(社)日本橋梁建設協会 からお借りした.この場を借りて,感謝の意を示す.

## 参考文献

- 仮設工業会編,経年仮設機材の管理に関する技術基 準と解説,仮設工業会,2004
- 西村隆司,中野目純一編,建設事故,日経 BP 社,, pp.14-19,2000.
- 3) 高梨成次, 大幢勝利, 高橋弘樹: 橋梁工事で使用す るサンドルの水平安定性に関する実験的研究, 安全 工学シンポジウム2007講演予稿集, pp.261-264, 2007.
- 4) 大幢勝利,高梨成次,高橋弘樹,宮下彰太郎,北條哲男:橋梁工事で使用するサンドルの水平安定性に関する実験的研究,土木学会第62回年次学術講演会講 演概要集,pp.507-508,2007.
- Katsutoshi Ohdo, Seiji Takanashi, Hiroki Takahashi: Vertical and Horizontal Loading Experiments on Temporary Support Used in Bridge Construction, Asia Pacific Symposium on Safety 2007, pp.468-471, 2007.
- 6) Katsutoshi Ohdo, Seiji Takanashi and Hiroki Takahashi: Experimental study on the stability of temporary support for girder construction, Bridge Maintenance, Safety, Management, Health Monitoring and Informatics (IABMAS'08), pp.1673-1678, 2008.7.

(2008年9月18日受付)