(31) 継手を有する鋼コンクリートサンドイッ チ部材およびせん断補強隅角部の力学的特性

原田 尚幸1・角田 晋相2・中筋 智之3・齋藤 優4・松岡 馨5・林 伸郎6

¹正会員 株式会社錢高組 技術本部 (〒163-1024 東京都新宿区西新宿3丁目7-1新宿パークタワー24F) E-mail:harada naoyuki@zenitaka.co.jp

⁶正会員 JFE建材株式会社 地下土木技術部 (〒103-0012 東京都中央区日本橋堀留町1丁目10番15号) E-mail:n-hayashi@jfe-kenzai.co.jp

交通渋滞解消を目的としたアンダーパスの急速施工技術であるLacross(ラクロス)工法は、1つのエレ メント寸法を大きくすることで継手数を減少し、外殻先行トンネル工法の施工性改善を図ったものである. しかし、継手の剛性評価や隅角部補強等の設計に関する基礎的資料が不足しており必要とされている. そこで、継手を有する鋼コンクリートサンドイッチ梁およびせん断補強を施したL形隅角部に対し載荷 試験を行い、継手や隅角部の耐力および変形挙動について検討した.その結果、継手部の曲げ、せん断の 設計には鋼コンクリートサンドイッチ構造と同様の設計法が、隅角部補強にはRC構造と同様の設計法が 適用できることがわかった.

Key Words :Underpass, Steel-Concrete Composite Structures, Jointe Structure, Knee Jointe, Mechanical Properties

1. はじめに

過密化した都市部では、交通量の増加に伴い道路交差 部や鉄道踏切部を中心に慢性的な交通渋滞が発生し、経 済活動や周辺環境に大きな影響を与えている.この渋滞 を解消するため、道路や線路を跨ぐオーバーパス方式や 潜るアンダーパス方式の立体交差急速施工法が数多く提 案されている.アンダーパスの急速施工技術である Lacross(ラクロス)工法¹⁾は、1つのエレメント寸法を 大きくすることで継手数を減少し、外殻先行トンネル工 法の施工性改善を図ったものである.

しかし、本工法で採用している継手はある程度の施工 誤差にも対応できる一方、応力伝達が明確になっておら ず、設計に関する基礎的資料が必要とされている.また、 隅角部は施工上、隅角部内に鋼コンクリートサンドイッ チ構造設計指針(案)²⁾(以下、サンドイッチ指針案と称 す)で規定されているようなせん断補強鋼板を配置でき ないため、破壊強度を適切に把握して補強することが重 要となる.そこで、継手を有する鋼コンクリートサンド イッチ梁およびせん断補強を施したL形隅角部に対し載 荷試験を行い、継手や隅角部の耐力および変形挙動につ いて検討した.

2. 工法概要

Lacross 工法の工法概要を図-1 に示す.本工法は,扁平 矩形断面の推進機を用いて外殻部を先行掘削し,鋼殻を 推進・連結した後トンネル内部を掘削する外殻先行トン ネル方式(図-2参照)であるが,継手数を8箇所と少な くすることで急速施工を可能としたところに特長がある. 継手部の構造を図-3 に示す.継手は鋼殻推進時の施工 精度を期待する鋼殻継手と耐力を確保する接合材(高力 ボルト,PC鋼棒)で構成されている.



図-1 Lacross 工法の概要



3. 継手部の力学特性

継手の力学的特性は、回転ばねとせん断ばねの2つの 剛性で評価する.トンネル構造体に作用する曲げモーメ ント、せん断力分布と継手位置の関係を図4に示す.実 験は曲げ性能に関する試験を6ケース、せん断性能に関 する試験を2ケースとした.実験ケースを表-1に示す.

試験体はある実構造物の3/8縮尺とし、梁高さ312mm, 梁幅250mmである. 鋼板はSM490, 板厚6mm(鋼材比2% 程度)を, コンクリートは30N/mm², 40N/mm², 50N/mm² の早強コンクリートを用いた. また, 継手状態として(a) 突合せと(b)噛込みを想定した(図-5参照).

(1)曲げ特性

a)実験概要

曲げ載荷試験の概要を図-6に示す.曲げ載荷は,純曲 げ区間600mm, せん断区間1,050mm(せん断スパン比 3.5)の2点載荷である.載荷荷重に応じて梁の変位量 (たわみ量)を測定するとともに,鋼板およびコンクリ ートのひずみを計測した.

b)実験結果

実験耐力と計算耐力の比較を表-2に示す.計算耐力は, 圧縮側鋼材を無視する単鉄筋断面としてサンドイッチ指 針案を参考に算定した.曲げモーメントを受ける部材の 耐力は,接合材のないN2試験体を除くすべての試験体 で実験値が計算値を上回り,安全側に評価できていると 考えられる.

曲げモーメントー変位関係を図-7に示す.継手の影響 は、図-7に示すとおりであり、№3、4試験体(継手状 態:突合せ)ではコンクリート全断面剛性の33%程度,

表-1 実験ケース 鋼板降伏 端度 (業手有無 線手状能) 接合



図-6 曲げ載荷試験の概要

表-2 実験値と計算値の比較

試験体No.	①実験値 (kN·m)	②計算値 (kN·m)	1/2
1	203.32	149.66	1.36
2	58.59	152.34	0.38
3	195.16	126.23	1.55
4	170.56	158.97	1.07
5	201.03	163.03	1.23
6	210.77	172.98	1.22





№5,6試験体(継手状態:噛込み)では50%程度に剛性 が低下した.突合せ状態で剛性低下の割合が大きいのは, ひび割れ発生後に継手金物がコンクリートから抜け出し たためである.曲げモーメントと回転ばねとの関係を 図-8に示す.回転ばねは曲げモーメントと回転角の関係 から求めた.継手断面の回転ばねは,曲げモーメントが 20kN・m以上で梁幅0.25m当たり1.0×10⁴(継手断面:突合 せ)~2.0×10⁴(主断面)kN・m/radの範囲であった.し たがって,今回の実験結果から回転ばね定数の提案値は 4.0×10⁴kN・m/rad/mと算出される.

(2) せん断特性

a)実験概要

せん断載荷試験の概要を図-9に示す. せん断載荷は, 隅角部付近で継手断面が逆対称曲げを受けせん断力が支 配的となることを考慮し,逆対称曲げモーメントが作用 するように逆対称4点曲げによる載荷試験(せん断スパ ン比1.0)とした. また,載荷荷重に応じて梁の変位量 (たわみ量)を測定するとともに,鋼板およびコンクリ ートのひずみを計測した.

b)実験結果

せん断力-変位関係を図-10に、実験耐力と計算耐力





表-3 実験値と計算値の比較

試験体No.	①実験値 (kN)	②計算值 (kN)	1/2
7	394.10	405.32	0.97
8	552.05	405.32	1.36

の比較を表-3に示す. せん断耐力はサンドイッチ指針案 の算定式でよく評価できていると考えられる. せん断力 とせん断ばねの関係を図-11に示す. せん断ばねはせん 断力とずれ量から求めた. せん断ばねは梁幅0.25m当た り1.5×10⁶kN/m (ひび割れ発生前), 1.0×10⁶kN/m (ひび 割れ発生後)程度であった. したがって, せん断ばね定 数の提案値は4.0×10⁶kN/m/mと算出される.

4. 隅角部の力学特性

(1)実験概要

試験体の諸元を表4に示す. 試験体はボックスカルバート隅角部を模したL形であり, 縮尺はある実構造物の 3/8とした. 設計目標は隅角部の剛結仮定を満足し, 破 壊強度が柱・梁部材の降伏強度以上になることとした.

実験要因はハンチの有無と隅角部せん断補強の有無で ある.ハンチはハンチ形状1:1,ハンチ厚0.6t(t:側壁 厚)とした.隅角部の補強は,隅角部内コンクリートに 発生する引張応力に抵抗できるように対角線方向に板厚 9mmの鋼板を配置した.補強鋼材量は,RC構造の隅角 部の設計³³に準拠し求めた必要補強鉄筋量と等価とした. 主要材料の試験結果を表-5に示す.

載荷概要を図-12に示す.載荷は試験体頭部に取り付けた押し引きジャッキ(1,000kN)により載荷・徐荷を 繰返す荷重漸増方式を採用し,正載荷から開始した.ここで,正載荷とは、隅角部を閉じる方向に載荷した場合 (隅角部内側に圧縮応力が作用するような曲げモーメントを受ける場合)を,負載荷とは隅角部を開く方向に載荷した場合(隅角部内側に引張応力が作用するような曲 げモーメントを受ける場合)とする.また,荷重の符号 は正載荷の場合を+,負載荷の場合を-とした.



図-12 正負交番載荷試験の概要



図-10 せん断力と中央変位との関係



図-11 せん断ばねとせん断力との関係

表-5 材料試験結果

	供試体No.	1	2	3	4		
	圧縮強度 (N/mm ²)	49.0	50.9	43.4	44.0		
コンクリート	ヤング係数(kN/mm²)	30.3	30.1	29.1	33.0		
	引張強度 (N/mm ²)	3.35	3.32	3.45	3.51		
錮板	降伏強度 (N/mm ²)		354	4.4			
(SM490,	ヤング係数(kN/mm²)	201.8					
t=5.7mm)	引張強度 (N/mm ²)	525.7					



31 - 4

表-6 試験体の損傷順序



表-7 実験結果と計算結果との比較

試験	初降伏	実験結果(kN)			計算結果(kN)			実験値/計算値		
体No.	箇所	 ①隅角部ひ び割れ荷重 	②降伏荷重	③終局荷重	④隅角部ひ び割れ荷重	⑤降伏荷重	⑥終局荷重	1⁄4	2/5	3/6
1		205.5	200.6	249.2	180.4	217.0	230.6	1.14	0.92	1.08
2	底版上面 鋼板	205.0	205.0	300.2	178.7	217.0	230.6	1.15	0.94	1.30
3		なし	160.7	210.7	397.2	217.0	230.6	-	0.74	0.91
4	側壁外側 鋼板	なし	256.3	372.4	400.4	253.7	269.7	-	1.01	1.38

(2)実験結果および考察

a)破壊形態

各試験体の初期損傷順序を表-6に示す.№1試験体は, 負載荷時に荷重P=200.6kNで隅角部を取り囲む底版上部 鋼板が降伏し,正載荷時に荷重P=205.5kNで隅角部内に 斜めせん断ひび割れが発生した.№2試験体は,負載荷 時に荷重P=205.0kNでハンチを構成する底版上部鋼板が 降伏すると同時に隅角部に斜めせん断ひび割れが発生し た後,ハンチ始点付近の側壁部鋼板が降伏した.№3試 験体は,負載荷時に荷重P=160.7kNで底版上部鋼板が降 伏した後,隅角部の引張鋼板取付部の溶接が切断され終 局に至った.№4試験体は,正載荷時に荷重P=256.3kNで ハンチ始点付近の側壁部外側鋼板が降伏した後,荷重増 加に伴い降伏領域が順次拡大した.

b) 試験体の耐力評価

ひび割れ発生荷重,降伏荷重および終局荷重について, 実験結果と計算結果の比較を表-7に示す.いずれの場合 とも計算値は実験値とよく一致しており,精度よく評価 できていると考えられる.ここで,ひび割れ発生荷重は 拘束効果を考慮しない隅角部コンクリートの割裂ひび割 れ抵抗^{4,5} として,降伏荷重および終局荷重はサンドイ ッチ指針案に基づき算出した値である.

c) ハンチおよび隅角部補強の効果

荷重-変位包絡線を図-13に示す.図より,(a)ハンチの 設置(№2試験体)は正曲げ時の部材剛性,耐力を向上 させられるが,負曲げに対してはハンチ鋼板が引張力に 抵抗できるように定着されていないため効果がみられな い.(b)隅角部内せん断補強鋼板の配置(№3試験体)は, 隅角部内コンクリートのひび割れ発生を防止できるが耐 力向上には寄与しない.(c)ハンチ鋼板が引張力に抵抗で きるように側壁および底版外側鋼板に定着する(№4試 験体)と,負曲げ時の部材剛性,耐力はハンチを設置し た№2試験体の正曲げ時と同程度まで向上することがわ かる.したがって,適切な隅角部補強とハンチの設置で, 隅角部は損傷することなく塑性ヒンジ形成箇所をハンチ 始点とする設計が可能であると考えられる.

5. まとめ

Lacross工法に用いる鋼コンクリートサンドイッチ構造の継手および隅角部ついて載荷試験を実施した結果,以下の知見が得られた.

①継手部の曲げ, せん断の設計には, 従来の鋼コンクリートサンドイッチ構造と同様の設計法が適用できることがわかった.

②今回採用した継手は曲げモーメント、せん断力を十分 伝達し、継手剛性として回転ばね定数 K_m =4.0×10⁶kN·m/mを提案値とし て用いられることがわかった.



③隅角部の補強には, RC構造と同様の設計法が適用で きることがわかった.

④補強がない隅角部は隅角部内で損傷が生じるが、隅角
 部を適切に補強すれば隅角部に隣接するサンドイッチ部
 材と同等以上の耐力を持たせることが可能であることが
 わかった。

参考文献

1) 原田・齋藤・角田・中筋・林・松岡: 大断面矩形推進機を用いた

アンダーパス工法の施工概要と特徴,土木学会第 61 回年次学 術講演会,2006.9

- 2) 土木学会:鋼コンクリートサンドイッチ構造設計指針 (案),1992.7
- 3) 首都高速道路公団:トンネル構造物設計要領(開削工法編, 耐震設計編),pp.3841,2003.5
- 4) 渡辺・河野:L形 RC 隅角部の強度と変形性能に関する検討, 土木学会論文集No.662/V-49,pp.59-73,2000.11
- 5) 渡辺・河野:L形 RC 隅角部の設計方法に関する検討,土木技 術資料,Vol.40,No.10,pp.36-41, 1998.10

MECHANICAL PROPERTIES OF STEEL-CONCRETE COMPOSITE BEAM WITH JOINT AND KNEE JOINT OF SHEARING REINFORCEMENT

Naoyuki HARADA, Shinsuke TSUNODA, Tomoyuki NAKASUJI, Masaru SAITO, Kaoru MATSUOKA and Nobuo HAYASHI

Applying steel-concrete composite structures to the tunnel lining members can be considered as one of the effective technologies for shortening work periods of underpass construction in urban intersection. However, the design information concerning the rigidity evaluation of the joint members and knee joint reinforcement is insufficient. So the loading experiment was performed to find out the effect of composite beam with joint and shear reinforcing in the knee joint. As the result of this experiment, (1)For the design of bending and shear in the joint member, the design method equal to that for composite structure is applicable. (2)For the design of shear in the knee joint, the design method equal to that for reinforce method of the RC is applicable.

31 - 6