

論文

[2180] 鋼コンクリートサンドイッチ構造隅角部の挙動

真壁知大^{*1} N.MALEK^{*2} 陸好宏史^{*3} 町田篤彦^{*4}

1. はじめに

近年、鋼コンクリートサンドイッチ構造が海洋構造物を中心に適用されつつある。この種の構造の部材レベルでの研究は多数行われ、その力学挙動は明らかにされつつある。しかし、この種の部材を相互に接合して一体化した場合に形成される隅角部の力学的挙動に関する研究[1],[2]は少なく、その適切な隅角部の補強方法、耐力の算定方法は確立されていない。

このような観点から、本研究では鋼コンクリートサンドイッチ構造隅角部の力学的挙動、特にその応力伝達機構を明らかにするために数体の隅角部供試体を作成し、静的載荷試験を行って、その耐荷機構を解明し、また、その補強方法の妥当性を検討した。本文はその結果について述べるものである。

2. 実験概要

実験に用いた供試体はFig.1に示すように断面幅25cm、高さ30cm鋼コンクリートサンドイッチ構造隅角部供試体が計4体である。供試体は、隅角部の補強方法を実験要因として2種類、また隅角部に作用する曲げモーメントの方向による隅角部の力学的性状を把握するために、各タイプを2体ずつ計4体作製した。これらのうち隅角部の対角線方向にダイヤフラムを配置したものをSCdタイプ、隅角部全体にウェブプレート配置したものをSCwタイプとする。使用鋼材は外郭鋼板がSM50で厚さが9.0mm、ダイヤフラムとウェブはSS41で厚さがそれぞれ3.2mmである。過去に行われている鋼コンクリートサンドイッチ構造隅角部の研究においては、従来の鉄筋コンクリート構造隅角部補強方法を基本として、隅角部の補強に鉄筋を使用したものが数例見られる。しかしそれらはこの種の合成構造の長所の一つである施工性の点からみた場合、必ずしもよいものとはいえない。そこで本実験に用いる供試体の隅角部には鉄筋の代わりとして、この種の合成部材に通常用いられるせん断補強鋼材を加工して用いることを試みた。ウェブプレートを用いたのは隅角部以外の部分にこれを配するとせん断補強が適切に行えるばかりでなく、コンクリートの施工が容易になることから、同形式で隅角部の補強ができないかと考えたためである。鋼材の詳細をTable 1にそれぞれ示す。また、供試体のはりおよび柱部材のせん断補強には厚さ3.2mmのSS41の鋼材をSCdタイプにはダイヤフラム、SCwタイプにはタイププレートをそれぞれの断面積が等しくなるように加工して配置した。

供試体の作製にあたっては、供試体を横に寝かせた後コンクリートの打設を行った。また、コンクリートは配合強度240kg/cm²、スランプ15cm、骨材の最大寸法20mmの生コンを使用した。

載荷は、Fig.2に示すように行ったのであって、載荷には50トンアクチュエータを使用し、静

*1 三菱重工業(株) (正会員)

*2 埼玉大学大学院 理工学研究科生産科学工学専攻 (正会員)

*3 埼玉大学助教授 工学部建設工学科, 工博 (正会員)

*4 埼玉大学教授 工学部建設工学科, 工博 (正会員)

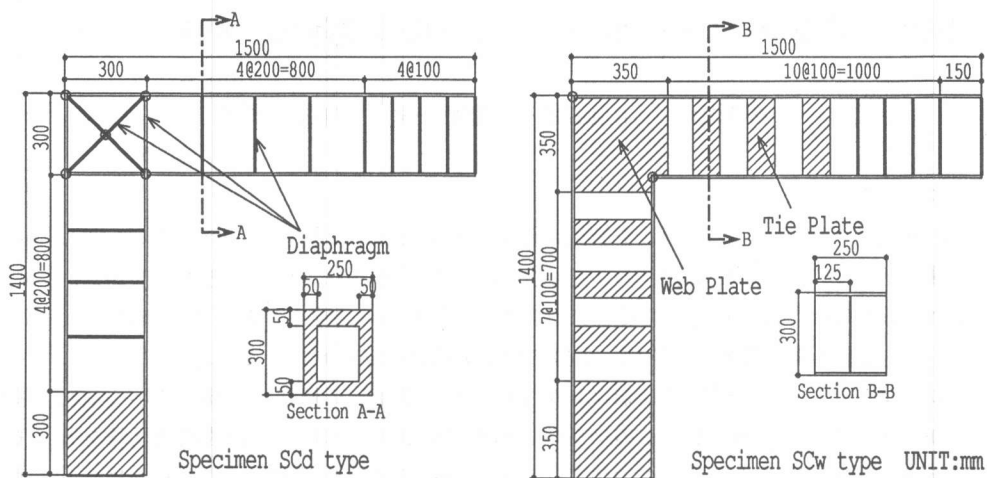


Figure 1 Details of Specimens

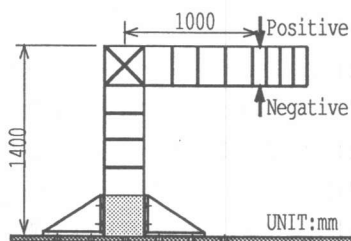


Figure 2 Loading System

Table 1 Mechanical Properties of steel Plate Used

Component	Steel type	Fy[MPa]	Ft[MPa]	Es[GPa]
Outer Plate(9.0mm)	SM490A	337	504	193
Reinf. Plate(3.2mm)	SS400	292	444	193

Fy:yield strength Ft:tensile strength Es:Young's modulus

的載荷を行った。本載荷試験では供試体の隅角部を閉じる向きにモーメントが作用する載荷を正曲げ載荷、また、その逆に隅角部を開く方向にモーメントが作用する載荷を負曲げ載荷と呼ぶことにする。載荷の際、載荷点のたわみ、鋼板、ダイヤフラム、ウェブ、タイプレートおよびコンクリートの各部のひずみとひびわれ幅を測定した。

3. 実験結果

3. 1 隅角部の挙動と補強方法の関係

各供試体の荷重－載荷点変位関係と終局状態の破壊性状をそれぞれFig.3とFig.4 に示す。

Fig.4(1)は正曲げ載荷を行った場合の荷重と載荷点変位の関係を示すものである。これによればSCd-1の場合、およそ180kNまで両者はほぼ直線関係を保っていることがわかる。しかし、ひずみ測定結果によれば隅角部の補強用ダイヤフラムのうち引張力を受け持つD-2が128kN前後で既に降伏したことが示された。そのときの隅角部各部の鋼材のひずみ分布はFig.5(1)のようで、ほぼ一様に分布していた。このことからPL-1およびPL-2が受け持つ引張力は、ダイヤフラムD-2を介して伝達されている部分が多かったといえる。D-2の降伏後は、PL-1とPL-2のひずみが急増していることから、その後の荷重増加に対する引張力は、

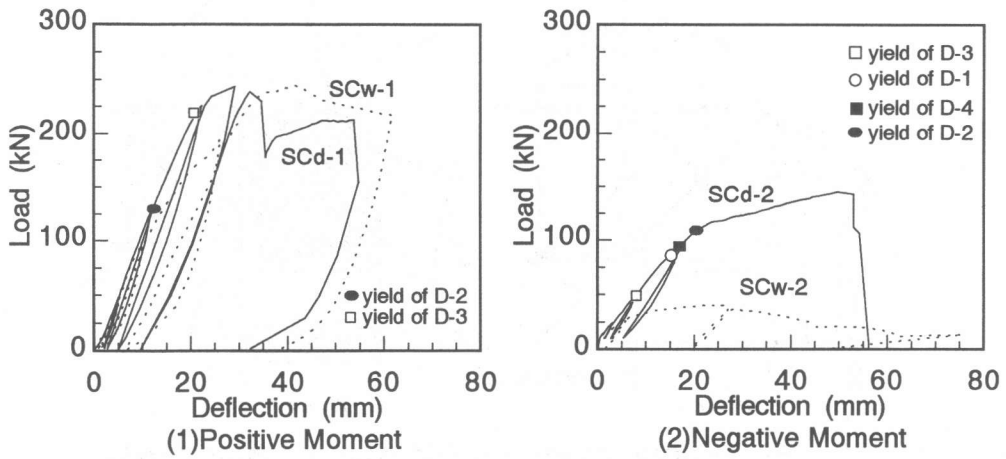


Figure 3 Load-Deflection Curves

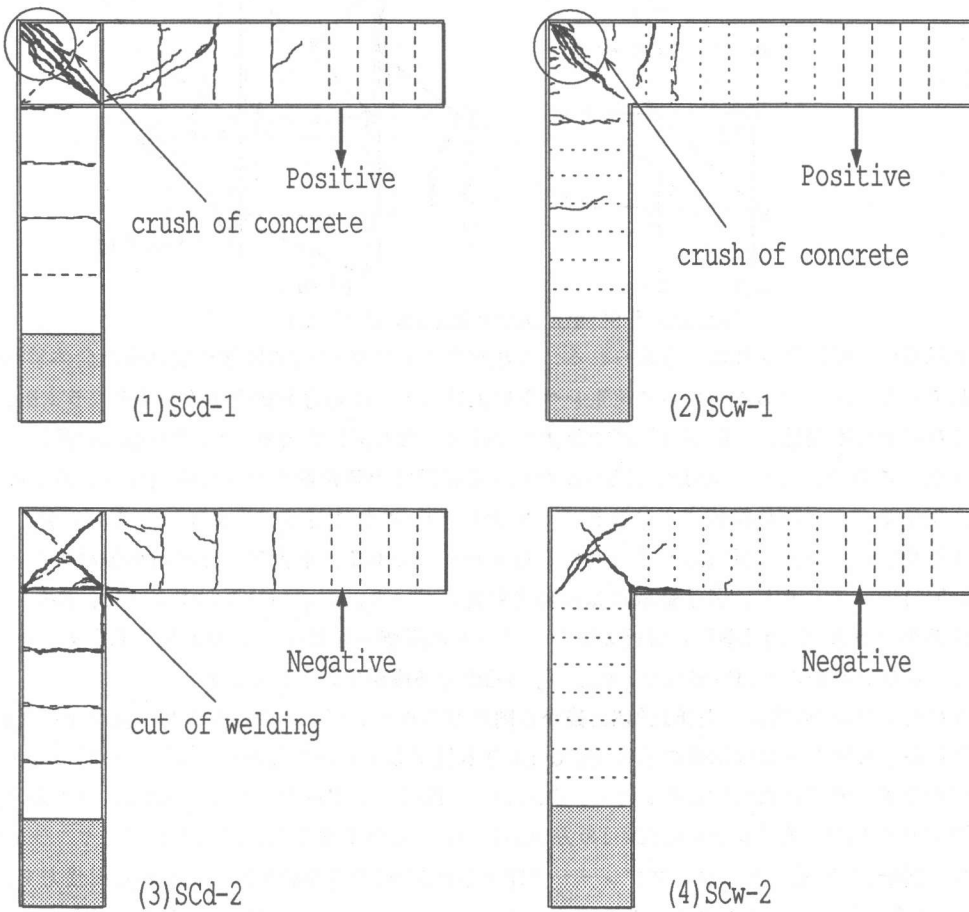


Figure 4 Crack Pattern at Ultimate State

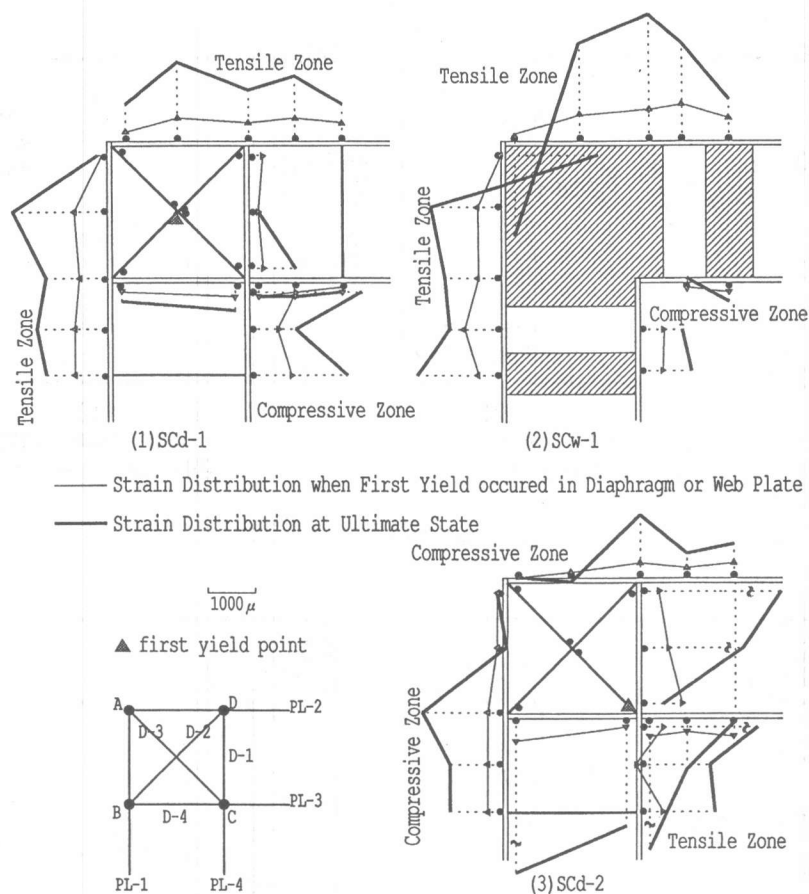


Figure 5 Strain Distribution at Corner

PL-1とPL-2に直接伝達されたと考えられる。これがダイヤフラムD-2の降伏が供試体の全体挙動に影響していない理由である。さらに荷重レベルを上げると、圧縮力を負担するダイヤフラムD-3に沿ってひびわれが発達し、D-3が225kNで降伏した時に、Fig.3(1)の荷重-たわみ曲線の勾配が小さくなった。この理由としてはPL-1とPL-2に作用する引張力が隅角部の点Aで合成され、点Cの方向に作用するが、これに抵抗するのはダイヤフラムD-3とこれに沿うコンクリートであるが、D-3が降伏したため、十分な抵抗力を得られなくなったからである。最大荷重作用時の鋼材のひずみはFig.5(1)に示すとおり、引張鋼板はほぼ降伏に達していた。Fig.4(1)に示すように、終局時には隅角部の頂点A (Fig.5参照) 付近のコンクリートの圧壊が起こり、このときダイヤフラムD-3に沿ったひびわれがこの領域で大きく広がり、D-3が局部座屈を起こしていた。

これに対しSCw-1の場合、荷重100kN前後から隅角部のウェブプレートに降伏した箇所が見られ、Fig.3(1)からも明らかに供試体の剛性がSCd-1よりも低下していることがわかる。この時の隅角部の鋼材のひずみ分布はFig.5(2)のようで、PL-1およびPL-2のひずみのレベルはSCd-1よりも若干大きい程度であるが、荷重レベルはSCw-1の方が小さいことを考慮すると、隅角部をダイヤフラムで補強したSCd-1と比較して、ウェブプレートで補強したSCw-1の方が低荷重のうちから引張力をPL-1, PL-2で受け持っていると考えられる。すなわち、ウェブプレートが負担できる引張力はSCd-1の隅角部に配置されているダイヤフラムD-2が受け持つそれよりも小さいといえ、このことが剛性を低下させた原因と考えられる。なお、Fig.3. (1)の荷重-たわみ曲線見ると荷重180kN程度から

剛性が上がっているが、この時には隅角部のウェブプレートのひずみはほとんどの箇所で降伏しており、ウェブプレートと隅角部のコンクリートで負担していた圧縮力の分担割合がこの時に変化し、荷重の増加による圧縮力の増加分をコンクリートで負担したといえる。最終的にこのコンクリートが圧壊して終局に至った (Fig.4(2)参照)。

負曲げ荷重を行ったSCd-2の場合、Fig.3(2)のように明らかに剛性も耐力もも正曲げ荷重の場合より小さい。これはFig.5(3)のように、荷重約50kNという低荷重で隅角部の引張力を負担するダイヤフラムD-3が鋼板PL-3とPL-4の取付部近傍で降伏したからで、PL-3、PL-4より伝達される引張力をD-3が負担できなくなったことによっている。すなわち、負曲げ荷重の場合には正曲げ荷重と異なり引張力にコンクリートの寄与がなく、D-3のみでその大部分を負担しなければならないため、剛性、耐力とも低下したといえる。そして、これ以降D-1およびD-4のひずみが増大していることから、引張力の増大はこれらが負担するようになったと考えられる。ついで荷重86kN程度でダイヤフラムD-1が降伏すると圧縮力を負担するダイヤフラムD-2に沿って突然ひび割れが大きく発生した (Fig.3(3)参照)。さらに荷重を加えるとダイヤフラムD-4、D-2の順で、隅角部のダイヤフラムは全て降伏し、この荷重レベルからFig.4(3)からも明らかなように荷重-たわみ曲線の勾配が小さくなった。よって、隅角部近傍の鋼材がほとんど降伏したため、隅角部の変形が大きく供試体全体の変形に影響したものと思われる。また、最大荷重時の鋼板PL-1、PL-2の圧縮ひずみの分布から、隅角部の圧縮力はダイヤフラムD-2に沿って作用していることが確認できる。よって、Fig.5(3)に示す頂点A、B、Dからなる領域の大半は応力伝達に寄与していないといえる。なお、SCd-2はFig.4(3)に指摘するように、鋼板PL-3とPL-4の取付部の溶接が切断されて終局に至った。

負曲げ荷重を行ったSCw-2は他の供試体と全く異なったひずみ性状を示し、最大荷重時でさえ、鋼板に発生するひずみはかなり小さかった。このことよりウェブプレートで隅角部を補強した場合には部材からの応力を確実に他の部材へ伝達するだけの補強としては十分でない。横田ら[1]の既往の研究結果と同様に、荷重しても隅角部の引張鋼板取付部の近傍で部材が変形し、コンクリートのひびわれが隅角部内で広がるだけで荷重は正曲げ荷重時の20%しか受け持てない結果となった。

なお全供試体の耐力はTable 2に示すように正曲げ荷重の場合、土木学会の鋼コンクリートサンドイッチ構造設計指針 (案) を参考に計算したはり部材の耐力よりも大きい耐力を示した。従って、ダイヤフラムあるいはウェブプレートで隅角部を適切に補強すれば、隅角部に隣接する部材と同等以上の耐力を持たせることが可能であるといえる。

Table 2 Comparison between Experimental and Analytical Results

Specimen	Direction of Moment	Experiment			Calculation	
		Py [kN]	Location of Yield Point	Pmax [kN]	Flexural Cap. [kN]	Shear Cap. [kN]
SCd-1	Positive	128	Diaph. 1	244	225	235
SCd-2	Negative	49	Diaph. 2	145	225	235
SCw-1	Positive	96	Web Plate	244	225	235
SCw-2	Negative	—	Web Plate	40	225	235

Py: yield load of reinforcing steel Pmax: maximum load

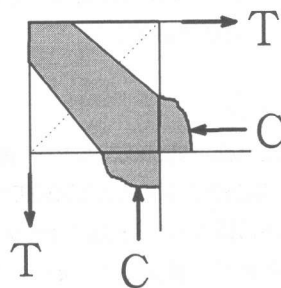


Figure 6 Strut Action in Corner

3. 2 隅角部の応力伝達機構

上述の実験結果を統合して作成した正曲げ载荷を受ける鋼コンクリートサンドイッチ構造隅角部の応力伝達機構のマクロモデルをFig.6に示す。このモデルは、はりおよび柱の両部材から隅角部に作用する引張と圧縮の内力の合力が隅角部の頂点Aと頂点Cを結ぶ対角線方向に圧縮ストラットを形成していると考えたものである。そして、SCd-1の場合、圧縮力を負担するダイヤフラムが降伏した後、コンクリートが増加荷重分の圧縮力を負担できなくなると圧壊して終局に至る。また、SCw-1は隅角部ウエブプレートが降伏した後、前述のように約180kN以降から剛性が高くなり、コンクリートの寄与が大きくなって強い圧縮ストラットが形成された。そして、コンクリートが圧縮力の増加分を負担できなくなると圧壊して終局に至る。このようにいずれの補強方法でも圧縮ストラットの耐力が隅角部の耐力を支配するのである。

負曲げの場合は隅角部の頂点Bと頂点Dを結ぶ対角線に沿って圧縮ストラットが形成されるが、引張力を伝えるダイヤフラムとウエブプレートの耐力が隅角部の耐力を支配する。

以上より、鋼コンクリートサンドイッチ構造隅角部の耐力はこのモデルにより、圧縮ストラットの耐力および引張力の伝達能力を正確に定量化すれば算定できると考えられる。

4. まとめ

今回の実験的研究の結果から以下のような結論を得た。

- ①鋼・コンクリートサンドイッチ隅角部に2種類の補強を施した供試体に正および負の曲げモーメントを作用させてその力学的挙動を検討した結果、正曲げ载荷の場合はSCd-1、SCw-1両供試体ともほぼ同じ耐荷性能を発揮することが確認された。よって、正の曲げモーメントを受ける際にはSCw-1のように隅角部にウエブプレートを配置する比較的簡単な補強方法の可能性が示された。しかし、SCw-2载荷試験の結果から、負の曲げモーメントに対してはその性能が著しく低下したため、実構造物に適用する際は別の補強を施すことが必要と思われる。
- ②今回の载荷試験から鋼コンクリートサンドイッチ構造隅角部が正の曲げモーメントを受ける際に隅角部頂点を通る対角線に沿ってコンクリートが圧縮ストラットが形成され、コンクリートの圧壊で終局を迎える破壊形式となった。今後、その圧縮ストラットの正確な幅と方向を定量化するために解析検討を行う必要がある。

謝辞 本研究の実験準備の際には土澤英幸技官に、また、载荷実験を劉新元君（埼玉大学大学院生）と石井博典君（横川ブリッジ）に多大なご協力を頂いた。また、ウイリヤム・タンゾ助手には载荷実験の際に適切なアドバイスを頂いた。ここに記して、厚く御礼申し上げる次第である。

参考文献

- [1]Virach RUNGROJSARATIS and Tamon UEDA:DESIGN METHOD FOR CORNER CONNECTION BETWEEN SANDWICH AND OPENSANDWICH COMPOSITE MEMBERS SUBJECTED BENDING MOMENT,Proc. of JCSE No.402/V-10, Feb.1989,pp.169-177
- [2]清宮理・横田弘：鋼-コンクリートハイブリッド構造のL形接合部の力学特性，第12回コンクリート工学年次論文報告集，1990年，pp.55-62
- [3]土木学会：鋼コンクリートサンドイッチ構造設計指針（案），コンクリートライブラリー第73号，1992年