

## アンボンド PCaPC 部材の曲げ耐力式の提案 その1 アンボンド部材の応力伝達機構に対する考察

### Equations for Predicting Ultimate Flexural Strength of PCaPC Members with Unbonded Tendons Part 1 Discussion on Stress Transfer Mechanism in Unbonded PCaPC Members

○浜原正行<sup>1</sup>, 小池正大<sup>2</sup>, 福井剛<sup>1</sup>\*Masayuki Hamahara<sup>1</sup>, Syoodai Koike<sup>2</sup>, Tsuyoshi Fukui<sup>1</sup>

Abstract: The arch model consists of a diagonal compressive concrete strut and unbonded longitudinal steels, and hence this model has been applied to the prediction of ultimate strength of unbonded precast prestressed concrete members subjected to bending and shear. This paper shows that in the unbonded members the concrete compressive strain distributions corresponding to the assumption of "plane sections remain plane", were observed and those corresponding to the diagonal strut in the arch mechanism were not found.

#### 1. はじめに

トラス機構は, Fig. 1 に示すように, せん断補強筋が鉛直材, 軸方向鋼材が弦材, そして, せん断ひび割れによって一軸圧縮応力状態となったコンクリートは斜材として挙動する. この機構は, 「①せん断ひび割れによってコンクリートが一軸圧縮応力状態となり」, さらに, 「②その後も耐力が上昇する」という2条件を満たす部材にしか成立しない. Fig. 2 に示すように, この条件①, ②はアーチ機構の成立条件でもある. そして, この条件に該当しない「対角線方向にせん断ひび割れが発生しない」, あるいは, 「発生したとしても, その直後に急激な耐力低下を起こす」部材の最大荷重は, Fig. 2 に示すような対角方向の圧縮斜材ではなく, 平面保持条件下でのコンクリートに負担されることになる.

軸方向鋼材としてアンボンド鋼材や丸棒を用いた部材(以後, それぞれアンボンド部材, 丸棒部材と略称)は, トラス機構が形成されないため, せん断力を負担するのは, アーチ機構であると考えられてきた. また, このようなことから, アーチ機構を実験的に再現し, その挙動を解明しようとする研究では, アンボンド試験体が用いられてきた. これらの研究では, 文献 1)を除くと, いずれも, アンボンド試験体には Fig. 2 に示すようなコンクリート圧縮斜材が存在することを前提とした議論が進められており, アーチ機構の存在自体に疑義をはさむものはなかった. しかし, アンボンド

部材や丸棒部材は, せん断ひび割れが発生しないか, あるいは, 発生したとしても, トラス機構を発揮できないため, その直後に急激な耐力低下を起こす. 前述のように, このような部材のコンクリートには平面保持が成立しており, アーチ機構が形成されることはない. したがって, その最大荷重は, アーチ機構を用いたせん断理論ではなく, 平面保持仮定に立脚した曲げ理論によって評価されることになる. 本報告では, この考えをさらに一歩進めた以下のような仮説を設定する.

**仮説(1): アンボンド部材, 丸棒部材の最大荷重は, 破壊モードによらず曲げ耐力式で统一的に評価できる.**

RC 靱性保証型指針<sup>2)</sup>, RC 終局強度型指針<sup>3)</sup>では, 有孔梁母材のせん断力は, トラス機構のみが負担し, アーチ機構は考慮できないとしている. これは, Fig. 3 に示すように, 母材圧縮斜材中の斜め圧縮力の伝達が開口によって中断されるからである. しかし, アンボンド部材や丸棒部材同様, トラス機構の残余分も, アーチ機構ではなく, 平面保持条件下でのコンクリートによってなされとすれば, 上記指針の「開口によって母材本来の耐力が低減する」とした考えは成立しないはずである. トラス機構残余分の耐力も曲げ理論の枠組の中で論じることができるとするなら, 以下のような仮説の設定が可能である.

**仮説(2): トラス機構が成立するような場合でも, その残余分は, 曲げ耐力で評価できる.**

本報告(その1)では, アンボンド部材, および, トラス機構の残余分の応力伝達は, コンクリートの平面保持条件下でなされること, そしてそ

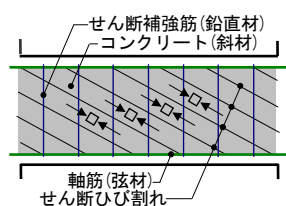


Fig. 1 Truss Mechanism

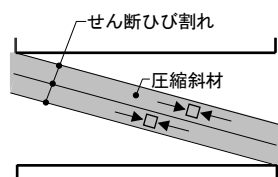


Fig. 2 Arch Mechanism

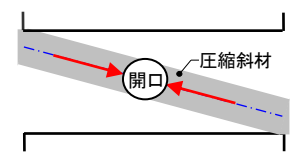


Fig. 3 Arch Mechanism and Web Opening

1: 日大理工, Nihon Univ. 2: 日大院, Graduate Student of Nihon Univ.

の挙動は曲げが卓越していることを実例で示し、本節での主張に対する裏付けを行う。その2, その3では、それぞれ仮説(1)、仮説(2)が成立することを示す。

## 2. アンボンド部材の挙動<sup>1)</sup>

この研究では、せん断スパン比、せん断補強筋比、軸力比、プレストレスレベルを要因とする9体のアンボンド試験体に逆対称曲げ一定せん断载荷を行っていった。以下は、せん断スパン比1、せん断補強筋比0%、軸力比0の試験体に関する実験結果を例に挙げながら、この研究から得られた知見を列挙したものである。

1) いずれの試験体も、圧縮縁の圧壊によって最大荷重に達し、その後は、Fig. 4に示した1体が対角線状せん断ひび割れと同時に急激に耐力低下を起し、残り8体は、コンクリート圧壊の進行によって徐々に耐力低下を起した。

2) 上で述べた破壊プロセスは、これらの試験体が1節で述べたアーチ機構成立条件①、②に該当していないことを示している。したがって、コンクリートひずみも、Fig. 5(b)に示すように、圧縮縁で最大、圧縮縁から離れるにしたがって減少しており、その勾配も、反曲点位置に近づくほど減少し、反曲点位置では、ほぼゼロとなっており、対角線方向の圧縮斜材に対応するひずみ分布とはなっていない。また、曲げ変形成分は、いずれも、Fig. 4(b)に示すように変形の増加に伴って上昇し、最大荷重時には80%以上となっている。

3) せん断補強筋比は最大荷重に影響を及ぼさない。

以上1)、2)より、アンボンド部材のコンクリート応力は、1節でも指摘したように、アーチ機構ではなく、平面保持の条件下で伝達されていることが分かる。

## 3. トラス機構残余分の挙動<sup>1)</sup>

この研究では、せん断スパン比、開口寸法と形状、開口位置、主筋の付着の有無を要因とした8体の試験体に2節に準じた载荷を行っていった。Fig. 6は、縦軸に最大荷重の実験値  $Q_{eu}$  を母材耐力計算値  $Q_u$  で除したもので、横軸に開口部耐力計算値  $Q_{uo}$ <sup>4)</sup> を母材耐力計算値  $Q_u$  で除したものを取り、この平面上に上記8体の試験体と文献4)の12体の試験体の結果をプロットしたものである。これらの試験体の母材と開口部の耐力は、それぞれ独立に、トラス機構とアーチ機構によるせん断力の和で与えている<sup>4)</sup>。

Fig. 6より、計算精度は、主筋に付着のあるもの(図中、▲)も含めて良好であることが分かる。この結果は、アンボンド部材と丸棒部材同様、トラス機構残余

分の応力もアーチ機構ではなく平面保持の条件下で伝達されていることを示している。

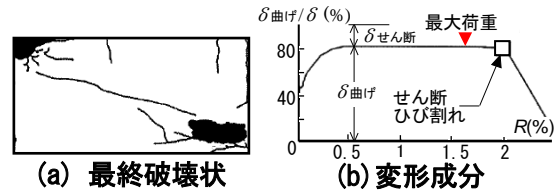


Fig. 4 Failure Mode of Unbonded Member

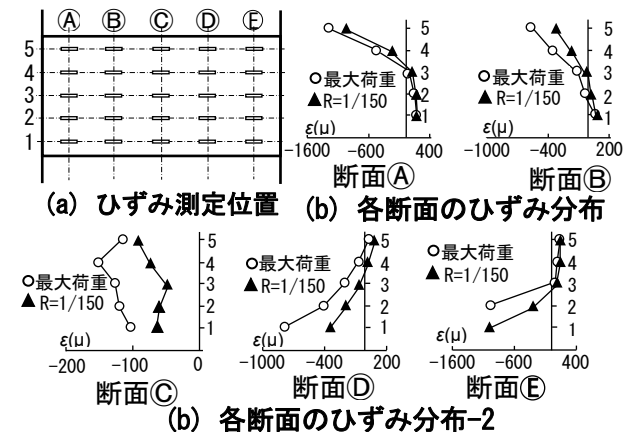


Fig. 5 Strain Distribution of Concrete

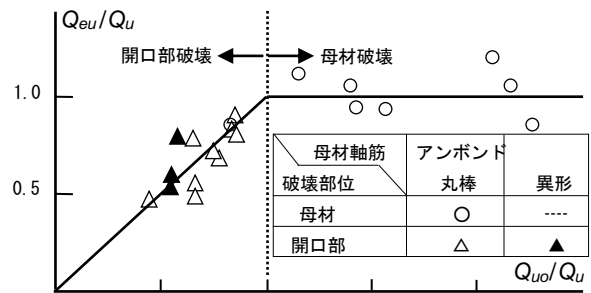


Fig. 6 Correlation Between  $Q_{eu}/Q_u$  and  $Q_{eu}/Q_u$

## 4. まとめ

1) アンボンド試験体には、アーチ機構が形成されず、コンクリートに平面保持が成立していた。また、これらの試験体の最大耐力は曲げ危険断面の圧縮縁の圧壊による曲げ破壊決まった。

2) トラス機構の残余分として評価されるようなアーチ機構にも平面保持が成立していた。

3) 曲げせん断を受けるアンボンド部材、丸棒部材、及びトラス機構の残余分の最大荷重は、曲げ耐力式で統一的に評価できるとした仮説を設定した。

### 【参考文献】

- 飯田ほか：軸方向鋼材の付着の有無が鉄筋コンクリートのせん断性状に及ぼす影響、日本建築学会構造系論文報告集(第564号) pp. 103-108, 2005
- 日本建築学会：鉄筋コンクリート造建物の靱性保証型耐震設計指針(案)・同解説, p. 151, 1997
- 日本建築学会：鉄筋コンクリート造建物の靱性保証型耐震設計指針(案)・同解説, p. 169, 1997
- 浜原ほか：プレキャストプレストレストコンクリート有孔梁の力学的挙動に関する実験的研究、プレストレストコンクリート第41巻(第5号) pp. 14-19