

三次元格子等価連続体化法による PC 定着部の破壊挙動の評価

名古屋大学大学院 土木工学専攻 学生会員 牧 真也
名古屋大学大学院 土木工学専攻 学生会員 Kongkeo PHAMAVANH
名古屋大学 伊藤 睦
名古屋大学 正会員 田辺 忠顕

1. はじめに

PC 橋梁の上部工断面に外ケーブル方式を用いてプレストレスを導入する際には、桁断面の下床版から上床版への定着突起が必ず必要となる。定着突起部の安全性照査については、どのようにして安全性を照査したらよいかといった具体的な方法が未だ明確にされていない。

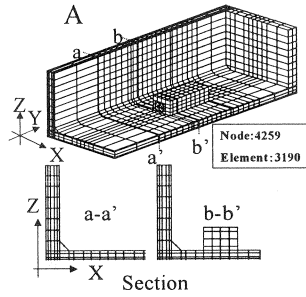
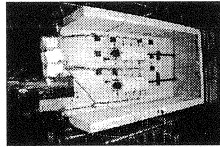
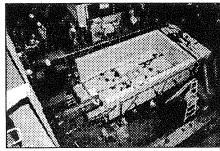
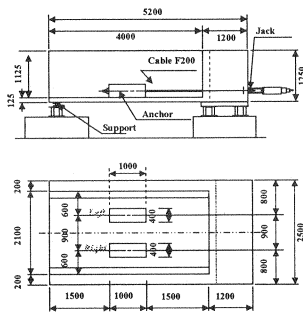
現在の安全照査の問題点は、定着突起から、一点集中力がフランジを通して、断面全体に分散され有効なプレストレス状態になるその間の部材各部の安全性照査があいまいになっている点である。また、安全性は、スケールダウンした実験で確認されているものの、試験体が破壊に至る実験は少なく、定着突起周辺の数値解析においても、弾性解析が主であることから、真の耐荷力が不明となっている点である。そのため、真の安全余裕度が不明であり、多大な過剰設計を行っている場合もあるものと考えられる。実規模の破壊実験が行うことが難しい以上、上述の改善策には、非線形解析を用いて、定着突起の最終破壊形態や最大耐荷力などを評価することが考えられる。そこで本研究では、開発を進める格子等価連続体化法¹⁾を三次元解析に適用し、定着突起形状が異なる2体の実験供試体の破壊解析を行うことにより、耐荷力や破壊性状を予測するとともに、PC 定着部の設計における今後の課題について考察を行った。

2 解析対象

2.1 実験の概要

本研究では、国土交通省土木研究所(現国土技術政策総合研究所)と(社)プレストレスト・コンクリート建設業協会との共同研究である外ケーブル定着体破壊実験²⁾を解析対象とした。実験では、幅員 10.0m、桁高 3.0m、下床版幅 5.0m、ウェブ厚 0.4m、下床版厚 0.25m の想定断面に、19S15.2(SWPR7B)の外ケーブルでプレストレスが与えられている。実験供試体は、実橋の 1/2 スケールとし、断面寸法は下床版 2.5m、ウェブ厚 0.2m、下床版 0.125m としている。実験供試体の概要図を図-1 及び写真-1 に示す。供試体は、定着突起の配置をウェブから離れた位置に定着した TYPE-A とウェブと下床版の隅角部に配置した TYPE-B の二つ行われている。TYPE-A、TYPE-B の定着突起はそれぞれ 1.0m、0.5m であり、コンクリートには設計基準強度 $\sigma_{ck} = 40\text{N/mm}^2$ を使用、鉄筋は SD295A となっている。外ケーブルは、19S15.2 の $0.7\sigma_{pu}$ 時緊張力 $P=3430\text{kN}$ を想定し、実験では F200T(SEE 工法)が使用された。実験は、供試体を支間約 4.0m 程度で単純支持し、緊張ジャッキにより外ケーブルに直接プレストレスを与える方法で行われた。供試体後方にマスコンクリートを置き、ゴム版を介して軸方向を支持されている。緊張力は、プレストレス導入直後 $0.7\sigma_{pu}$ 相当の緊張力 ($P=868\text{kN}$)、PC 鋼材の第 2 降伏点である 0.93 相当の緊張力 ($P=1153\text{kN}$) を着目点とし、一旦 $0.93\sigma_{pu}$ 相当まで漸増させた後、緊張力を開放している。その後、破壊性状を確認するため緊張力を $1.1\sigma_{pu}$ 相当 ($P=1350\text{kN}$) まで緊張力を漸増させている。なお変位計は定着突起の 30cm 前方の下床版上に設置され、定着突起上部の変位を計測している。

TYPE-A



TYPE-B

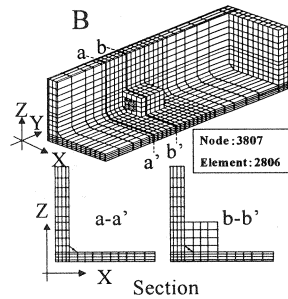
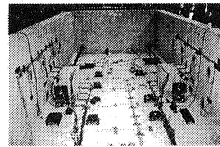
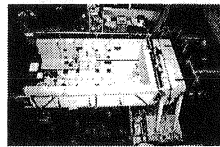
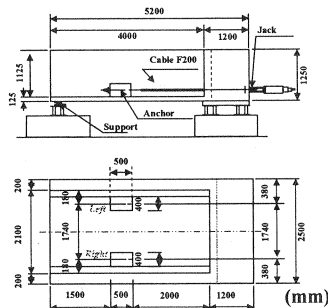


図-1 実験供試体

写真-1 実験供試体

図-2 解析モデル

2.2 解析概要

図-2に解析モデルを示す。本解析では、対称性を考慮して解析モデルを供試体の1/2とした。定着体載荷版を剛体とし、中心を変位制御で一点載荷することにより、PushOver解析を行った。変位は変位計測点である定着突起上部の変位から変位計が設置されている点の変位を差した相対変位とした。また、TYPE-A供試体についてはシェル解析も行い、その適用可能性を照査した。

3. 実験及び解析結果

3.1 実験結果

TYPE-Aは、 $P=200\text{kN}$ で定着突起からハンチに向かって下床版にひび割れが確認されている。その後、緊張力の増加とともにひび割れが進展していき、 $P=1020\text{kN}$ 載荷された時点で、下床版が剥離し、緊張力が低下したと報告されている。TYPE-Bは、 $P=700\text{kN}$ でひび割れが確認されている。載荷が $P=1153\text{kN}$ に達すると定着突起本体にもひび割れが確認された。しかし、実験は安全性確保を原因に途中で中止されたため、その最大耐荷力、最終的な破壊形態などは未知のままである。

3.2 解析結果

図-3、図-4にそれぞれTYPE-A、TYPE-Bの解析結果を示す。

(1) TYPE-A

解析は、剛性を過大評価しているものの、実験の耐荷力を精度良く評価できている。また耐力が低下していくポストピーク挙動も得られている。図-3(b)の変形図からは下床版全体が大きく曲げ変形しており、定着突起-ウェブ間でせん断変形が出ている事が確認された。また図-3(c)の最大主ひずみ分布図からも定着突起周辺の下床版、ウェブで破壊が大きく進展しているの事が確認された。この

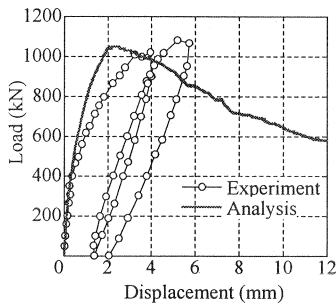


図-3(a) 荷重-変位関係

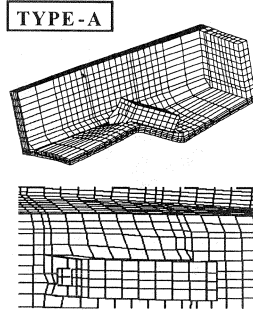


図-3(b) 変形図

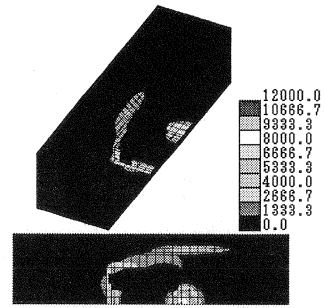


図-3(c) 最大主ひずみ分布

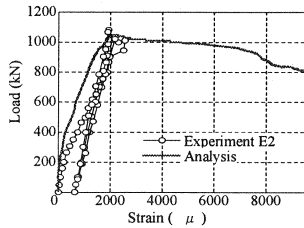
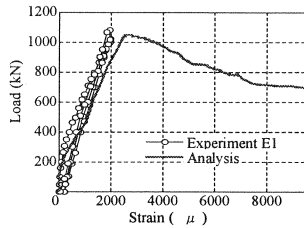


図-3(d) 荷重-鉄筋ひずみ

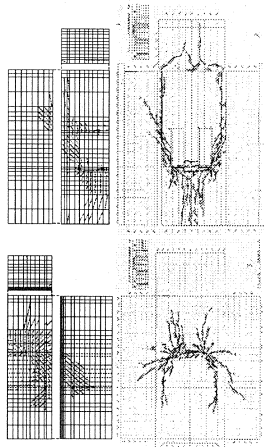


図-3(e) ひび割れ図

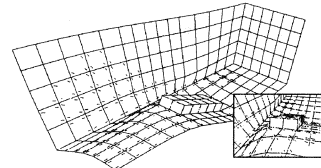
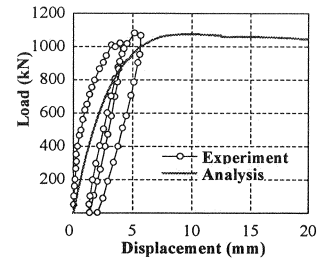


図-3(f) シェル解析

ことより、終局状態では、桁（下床版+ウェブ）部分で破壊が進展したと考えられる。

下床版の主鉄筋で定着突起直下付近のひずみ E1 と定着突起内鉛直方向鉄筋のひずみ E2 を照査し、荷重-鉄筋ひずみ関係を精度良く評価できていることが確認された。(図-3(d)) さらに本解析から得られたひび割れ性状は実験とほぼ整合する結果となった。(図-3(e))

(2) TYPE-A Shell 解析

TYPE-A 供試体をシェル解析した結果、予測値は剛性を過小評価しているものの、耐荷力は実験値と良く一致する結果となった。変形性状からも、桁（下床版-ウェブ）で破壊が進展するというソリッド解析と同様な破壊性状が確認された。(図-3(f)) この結果、桁（下床版-ウェブ）で構造の破壊が決まる TYPE-A のような供試体に関しては、計算時間が短く、簡便に解析結果を導く事ができるため、シェル解析が有用と考えられる。

(3) TYPE-B

TYPE-B 供試体では TYPE-A 供試体の 1.8 倍程の耐荷力を予測する結果となった。図-4(b)の変形図からは、ウェブ及び下床版の定着部背面において局部的に比較的大きな曲げ変形が見られるものの、全構造の中で定着突起の変形が卓越している。特に定着突起がウェブ、下床版と接合している部位は斜めに剥離していく挙動が確認された。ここで図-4(c)にそれぞれスラブ、下床版、ウェブとの接合部に配筋されている定着突起せん断補強筋の荷重-鉄筋ひずみ関係を示す。せん断補強筋ひずみが極度に卓越しており、ここからも定着突起がそれぞれウェブ、下床版から剥離していく事が確認された。

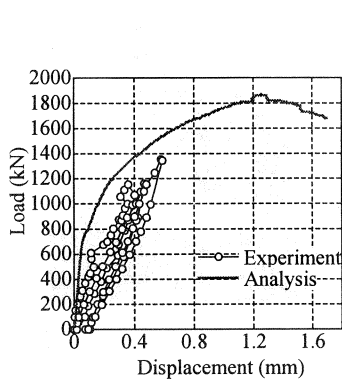


図-4(a) 荷重-変位関係

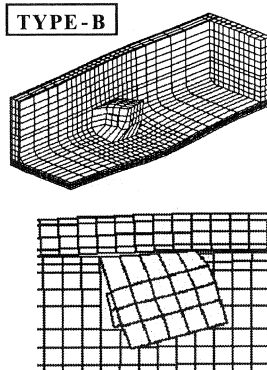


図-4(b) 変形図

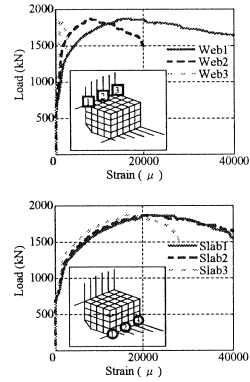


図-4(c) 荷重-鉄筋ひずみ

これらの変形や鉄筋ひずみ挙動より、TYPE-B の破壊性状は、定着突起と下床版、ウェブ間のスリップ（せん断）破壊であると考えられる。

4. 今後の課題

実験では計測が困難な最大耐力やそれ以後の挙動についても非線形解析では予測可能であるが、解析コードの適切性や、膨大な計算量といった問題は回避できない。そこで一つのモデルに固執せず、設計目標にあった解析コードを用い、様々な解析することにより、信頼おける解析結果が得られると考えられる。また、信頼できる非線形解析を通して、適切な鉄筋配置を考慮した定着突起形状の決定をし、定着突起形状の縮小化、死荷重軽減が今後望まれる。

5. 結論

PC橋梁を設計する際に重要となるPC定着突起付近の破壊性状、耐力力は未だ明確にされていない。西川らによる実験²⁾と本解析を行うことにより、以下の三つの結論が得られた。

- ・本解析を通して、三次元格子等価連続体化法は、TYPE-A においては最大耐力、鉄筋ひずみ、ひび割れ性状を精度良く評価し、TYPE-B においては、実験では計測不可能であった最大耐力、破壊性状を推測する事ができるなど、その有用性が確認された。

- ・本解析結果に基づけば、TYPE-A は桁（下床版+ウェブ）の曲げ変形、定着突起-ウェブ間のせん断で破壊に至り、TYPE-B は定着突起が下床版から剥離するという破壊性状が推測された。これらより定着突起の配置がPC定着突起の耐力、破壊性状に大きな影響を及ぼす事が確認された。

- ・ソリッド解析とシェル解析では剛性の評価は異なったものの同様の耐力力を予測する結果となった。TYPE-A のような桁自体で破壊が決まる構造はシェル解析で簡便に行い、TYPE-B のような定着突起が剥離するような局所的破壊ならばソリッド解析を行うなど、供試体に合わせ様々な解析を行う事により、簡便で妥当な結果が得られると考えられる。

参考文献

- 1) Tada-aki, Tanabe, Ahmad Syed Istiaq: Development of Lattice Equivalent Continuum Model for Analysis of Cyclic Behavior of Reinforced Concrete, Seminar on Post-Peak Behavior of RC Structures Subjected to Seismic Loads Volume2, pp.105-123, 1999.10.
- 2) 西川和廣, 廣松新, 伊藤彦彦: 外ケーブル定着突起の形状および配筋に関する研究, プレストレストコンクリート技術協会第10回シンポジウム論文集, pp.781-786, 2001