

## ジャッキダウン工法に用いる 接合部の開発



山田 正人\* 林 篤\* 野澤 伸一郎\*

線路上空に人工地盤を構築する場合の工期短縮、コストダウンを図るため支障物を避ける施工法を考案した。この施工法に適した接合部として、径の大きな鋼管内に小径の鋼管を差し込み、その間隙をコンクリートで充填し一体化するソケット接合構造に着目し、これを柱と梁の接合部に適用するための検討を行った。模型試験体による載荷試験により破壊形態、終局強度について検討を行った結果、本接合部の破壊形態として外ダイアフラムの引張降伏に起因するものとソケット鋼管のせん断降伏に起因するものがあることがわかった。また、接合部の終局強度には、ソケット鋼管厚、ずれ止めプレート及びずれ止め鉄筋の有無が大きく影響することが明らかとなった。

**キーワード：**ジャッキダウン工法、ソケット接合、終局強度、ずれ止めプレート

### 1 はじめに

近年、線路上空に人工地盤を構築し、線路上空を有効利用する事例が増えてきている<sup>1)</sup>。線路上空、特に駅部に人工地盤を構築する場合、一般的に以下に示す手順で施工を行っている(図1(a)参照)。

1) 仮上家を設置する、2) 既存上家に添架しているケーブル類を仮上家に移設する、3) 既存上家を撤去する、4) 人工地盤を構築する、5) 仮上家に移設したケーブル類を人工地盤に移設する、6) 仮上家を撤去する。

この施工法の場合、仮上家の設置、ケーブル類の移設回数の多さがコストアップにつながっていた。そこで、仮上家の省略、上家に添架されるケーブル類の移設回数

を削減することによりコストダウンと工期短縮を図る施工法を考案した(図1(b)参照)。筆者らは、この施工法に適した接合部の開発を進めてきた。この接合部に要求される性能として、1) 仮設置した状態での構造体としての安全性、2) ジャッキダウンする場合の施工の容易さ、3) 完成形における構造体としての安全性が挙げられる。以上の要求性能を満足する構造として、径の大きな鋼管(以下、ソケット鋼管という)内に、それよりも径の小さな充填鋼管柱を所定長さ差し込みその環状の隙間にコンクリートあるいはモルタルを充填し一体化する接合構造(以下、ソケット接合という)に着目した。図2に示すように、このソケット接合を利用して、まず、接合部を仮設置した状態で既存上家に支障しない位置に人

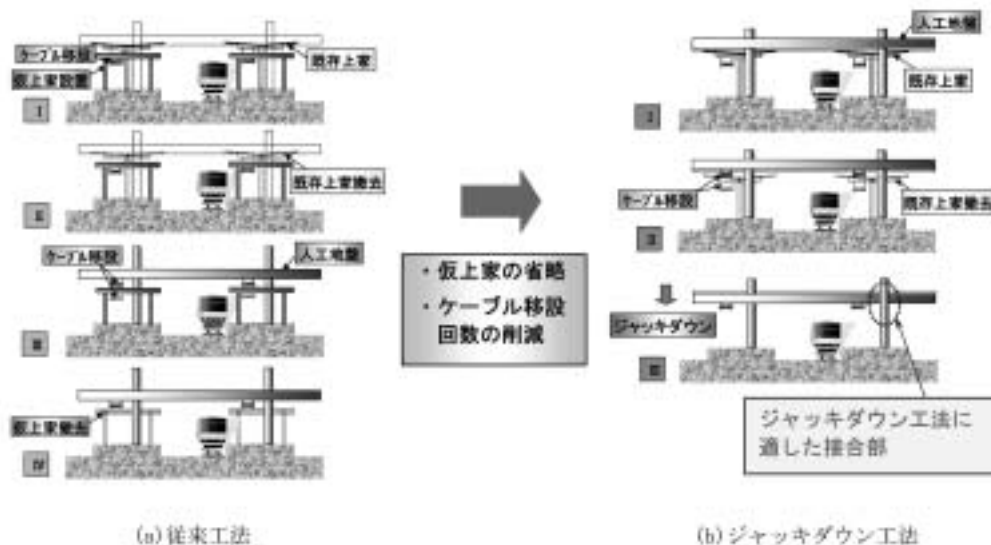


図1：ジャッキダウン工法のイメージ

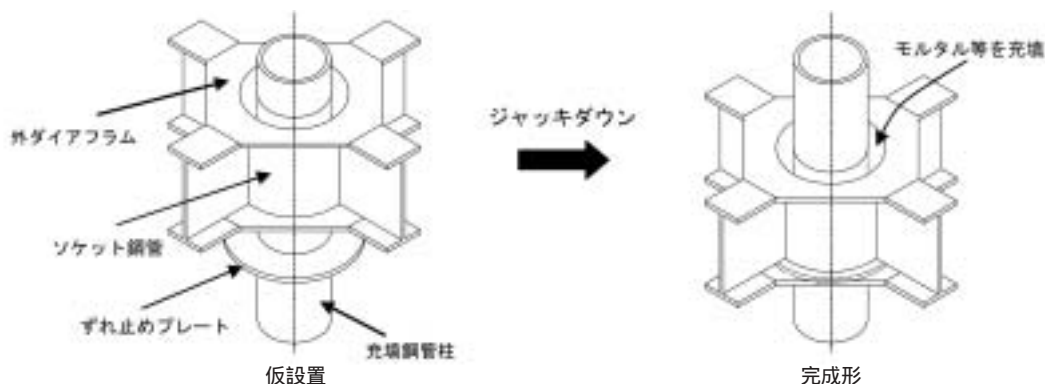


図2：ジャッキダウン工法の接合部のイメージ

工地盤を構築し、既存上家の撤去後、所定の位置まで人工地盤をジャッキダウンし、柱とソケット鋼管の空隙にモルタル等を充填し柱と接合して完成となる。

このソケット接合に関する研究は近年精力的に行われてきている<sup>2)~4)</sup>。しかしながら、これらの研究は柱・杭接合部を想定して行われたものである。一方、柱・梁接合部を想定した研究<sup>5)~6)</sup>も行われてはいるが、この接合部の応力伝達機構が必ずしも明らかにされていないのが現状である。

そこで、この外ダイアフラム付きソケット方式による柱・梁接合部の耐荷機構及び耐荷性状を解明することを目的に、人工地盤の柱・梁接合部をモデル化した模型試験体を用い、載荷試験を実施したので、その内容について報告する。

## 2 実験概要

### 2.1 試験体諸元

試験体の諸元及び形状を表1、図3にそれぞれ示す。試験体は、柱・梁接合部をモデル化したト形試験体で、コンクリート充填鋼管柱よりも径の大きなソケット鋼管に充填鋼管柱を差し込み、間隙をモルタルで充填して一体化する構造とした。ソケット鋼管外側に外ダイアフラムを設け、H形梁を接合させている。

P - 1を標準試験体とし、P - 2及びP - 5試験体はソケット鋼管径、P - 3試験体はソケット鋼管長さ、P - 4試験体はソケット鋼管の板厚を変えた試験体である。さらに、施工性の向上と梁からのせん断力に対しての抵抗部材として柱鋼管に予め溶接したプレート(以下、ずれ止めプレートという)が接合部強度に影響することが予測されたため、P - 6試験体はずれ止めプレートの

ない試験体とした。以上のP - 1 ~ 6試験体には、鋼管の表面と充填モルタルとの付着性能を向上させるため、ソケット鋼管内側及び柱鋼管外側に、6mmの丸鋼を50mmピッチで円周上に溶接している。P - 7試験体は、このずれ止め鉄筋の影響をみるため、ずれ止めプレート及びずれ止め鉄筋を設けていない。なお、今回の試験では、鋼管柱を降伏させずに接合部を破壊させるように、鋼管柱及びソケット鋼管の板厚をそれぞれ定めた。

鋼材は、ソケット鋼管のみSS400とし、それ以外の部分についてはSM490を使用している。

鋼管柱への充填コンクリートは設計基準強度 $27\text{N}/\text{mm}^2$ 、柱とソケット鋼管との空隙充填材には設計基準強度 $45\text{N}/\text{mm}^2$ 程度のプレミックスモルタルを使用した。表2に実験に用いた鋼材の降伏点とコンクリート及びモルタル材料の実験当日の強度をまとめたものを示す。

### 2.2 載荷方法

載荷方法は、図3に示す位置での片押しの単調載荷とした。載荷は、試験体が破壊するかストローク限界となる200mm程度まで行った。

測定は、載荷力、各部位での変位、ソケット鋼管、外ダイアフラムでのひずみを測定した。

## 3 実験結果及び考察

### 3.1 破壊状況

標準となるP - 1試験体の破壊状況について記述する。まず、充填モルタルの側面にひび割れが発生し、載荷とともにひび割れが進展し、充填モルタルとソケット鋼管及び柱との空隙が確認された。その後、図3に示すソケット鋼管ひずみ計測点Aにおいて、周方向に対して

表 1 : 試験体諸元

試験体名	鋼管柱 d (mm)	梁 (mm)	ソケット鋼管径 D (mm)	ソケット長さ L (mm)	ソケット板厚 t (mm)	D/d	L/d	D/L	パラメータ
P-1	φ318×125	H350×350 ×16×22	406	350	6	1.28	1.10	1.16	標準ケース
P-2	φ318×125	H350×350 ×16×22	500	350	6	1.57	1.10	1.43	ソケット鋼管径
P-3	φ318×125	H500×350 ×16×22	406	500	6	1.28	1.57	0.81	ソケット鋼管長さ
P-4	φ318×125	H350×350 ×16×22	406	350	12	1.28	1.10	1.16	ソケット鋼管板厚
P-5	φ318×125	H250×350 ×16×22	374	350	6	1.18	1.10	1.07	ソケット鋼管径
P-6	φ318×125	H350×350 ×16×22	406	350	6	1.28	1.10	1.16	ずれ止めプレート無
P-7	φ318×125	H350×350 ×16×22	406	350	6	1.28	1.10	1.16	ずれ止めプレート、鉄筋無

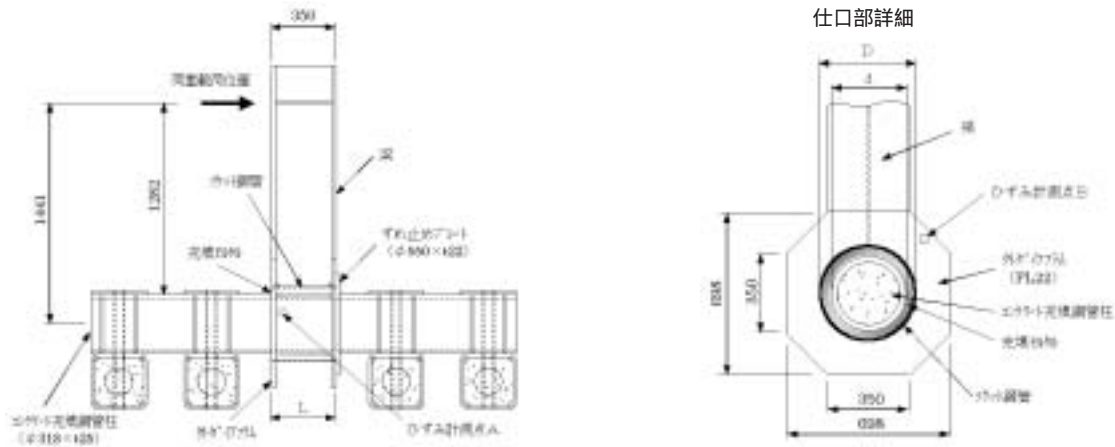


図 3 : 試験体形状

表 2 : 材料強度

供試体名	降伏点 (N/mm <sup>2</sup> )					圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )	
	ソケット鋼管	柱鋼管	外ダイアフラム	梁フランジ	梁ウェブ	柱エポキシ	充填モルタル
P-1	313	332	345	347	328	36.7	45.9
P-2	313	332	345	347	328	35.8	43.7
P-3	313	332	345	347	328	36.9	45.2
P-4	276	332	345	347	328	39.6	43.0
P-5	311	321	366	326	330	39.2	51.5
P-6	311	321	366	326	330	41.8	51.1
P-7	311	321	366	326	330	40.6	53.9

45度方向ひずみが増加して降伏ひずみに達した。さらに  
 載荷荷重の増加に伴って充填モルタルのひび割れが進展  
 し剥落し始め、充填モルタルと柱及びソケット鋼管との  
 空隙及びソケット鋼管のせん断変形が進展していった。  
 そして、ずれ止めプレート及び外ダイアフラムの面外変  
 形が進展していき、ソケット鋼管側部に亀裂が発生し実  
 験を終了した。図 4 に実験状況を、図 5、6 に試験体の  
 破壊状況を示す。

### 3.2 主ひずみ分布及び荷重・変位関係

図 7 に P - 1 試験体のソケット鋼管がひずみ計測点 A  
 においてせん断降伏に達した時点でのソケット鋼管表面

の主ひずみ分布を示す。図より、ソケット鋼管のせん断  
 ひずみが、荷重載荷側の外ダイアフラム近傍に集中して  
 いることがわかる。なお、せん断降伏強度は、ミーゼ  
 スの降伏条件から式 (1) により求めた。

$$\tau_v = \sigma_v / \sqrt{3} \quad \dots (1)$$

$\tau_v$  : せん断降伏強度

$\sigma_v$  : 引張降伏強度

図 8 に P - 1 試験体及び P - 2 試験体の荷重・変位関  
 係を示す。また、図 9 には P - 1 及び P - 2 試験体の荷  
 重とひずみ計測点 A におけるせん断ひずみの関係を示  
 す。P - 1 試験体については、図 9 に示した荷重・せん  
 断ひずみ関係のひずみ増加傾向と、図 8 に示した荷重・



図4：実験状況

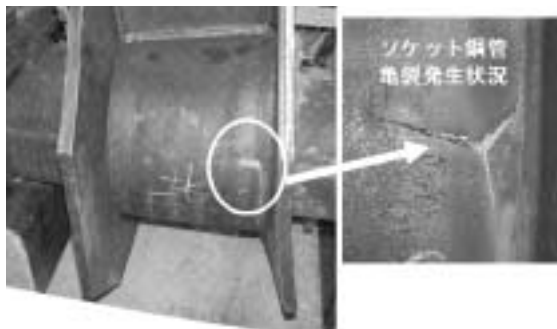


図5：載荷終了状況その1



図6：載荷終了状況その2

変位関係の変位増加傾向は、異なっていることがわかる。つまり、ソケット鋼管がせん断降伏して非線形性が表れてきても、図8に示す荷重・変位関係においては、明確な非線形性は表れていない。図10にP - 1試験体及びP - 2試験体のひずみ計測点B（図3参照）における荷重と外ダイアフラムのひずみ関係を示す。但し、図中の印はひずみ計測点A（図3参照）においてソケット鋼管がせん断降伏した時の荷重を示している。図10に示したP - 1試験体の荷重・ひずみ関係のひずみ増加傾向

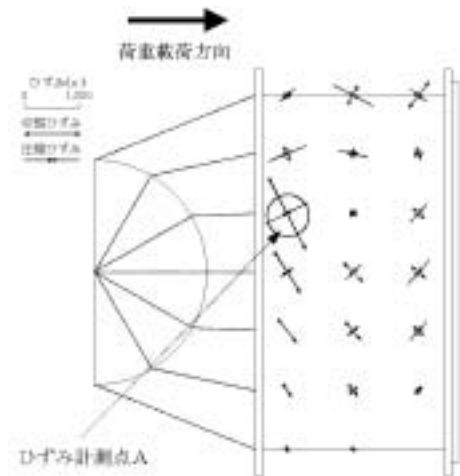


図7：主ひずみ分布（P - 1試験体）

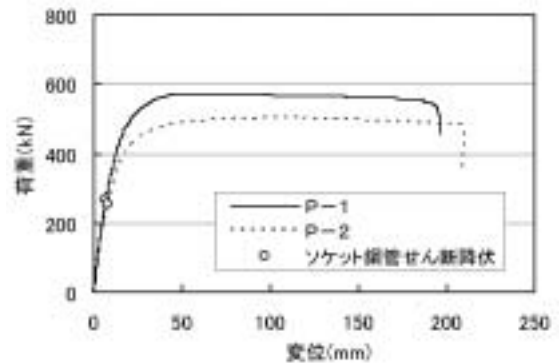


図8：荷重・変位関係

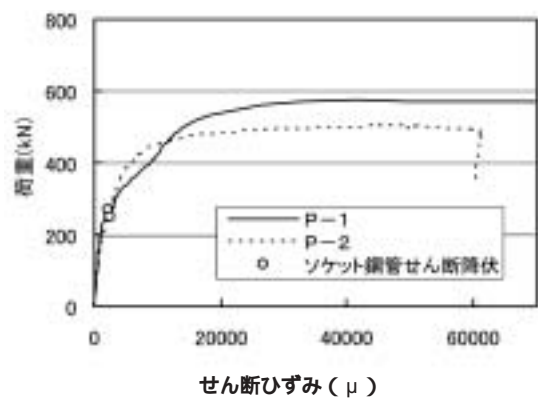


図9：荷重・せん断ひずみ関係

は、図8に示した荷重・変位関係の変位増加傾向と概ね対応していることがわかる。従って、P - 1試験体の破壊形態は、ソケット鋼管のせん断降伏の進展よりも、外ダイアフラムの引張降伏の進展によるものが支配的であることが推定される。

一方、ソケット鋼管径の大きいP - 2試験体については、図9に示した荷重・せん断ひずみ関係のひずみ増加傾向と、図8に示した荷重・変位関係の変位増加傾向が、よく対応していることがわかる。また、図9及び図10よ



り、ソケット鋼管のせん断ひずみの進展に伴い外ダイアフラムのひずみが急激に増加していることがわかる。従って、P - 2 試験体の破壊形態は、ソケット鋼管のせん断降伏の進展によるものが支配的であることが推定される。P - 2 試験体以外の試験体については、P - 1 試験体とほぼ同様な破壊形態の傾向がみられた。

### 3.3 荷重・変位関係への各パラメータの影響

各試験体の荷重・変位関係を図11～13に示す。図11はソケット鋼管径の影響を、図12はソケット鋼管の板厚の影響を、図13はずれ止めプレート及びずれ止め鉄筋の影響をそれぞれ比較したものである。また、図中における終局強度点とは、文献2)を参考に、荷重・変位関係の接線勾配が初期勾配の5%にまで低下した時点の荷重を便宜的に実験により得られた終局強度と定義することにした。なお、ソケット鋼管長さの影響については、P - 1 及び P - 3 試験体の破壊形態が外ダイアフラムの引張降伏に起因するものと推定されるため、外ダイアフラム間隔が長い P - 3 試験体の方が剛性、終局強度ともに高いことが明らかなためグラフは割愛した。

#### (1) ソケット鋼管径の影響

ソケット鋼管径を大きくするに従って、終局強度は低下する傾向となった。図3に示したように、今回外ダイアフラムの外寸法は固定とし、ソケット鋼管の径を変化させている。従って、ソケット鋼管を大きくすれば外ダイアフラムの面積は小さくなり、耐力は低下するものと考えられる。前述したように、P - 1、5 試験体については、破壊形態が外ダイアフラムの引張降伏に起因すると推定され、P - 2 試験体はソケット鋼管のせん断降伏に起因すると推定されるため、ソケット鋼管と外ダイアフラムの形状の差により、P - 1 と P - 2 試験体の間に破壊形態の移行点があるものと推定される。

#### (2) ソケット鋼管厚の影響

ソケット鋼管厚を12mmと厚くした P - 4 試験体は、P - 1 試験体と比較して終局強度は高くなる傾向を示した。P - 1 試験体と P - 4 試験体は、破壊形態が外ダイアフラムの引張降伏に起因すると推定されるが、両試験体の外ダイアフラムは同じ寸法強度であり耐力は同じであると考えられる。しかしながら、両者の間に終局強度の差があるのは以下の理由と考えられる。

図14に、P - 1 及び P - 4 試験体のひずみ計測点 A (図3参照)における荷重・せん断ひずみの関係を示す。

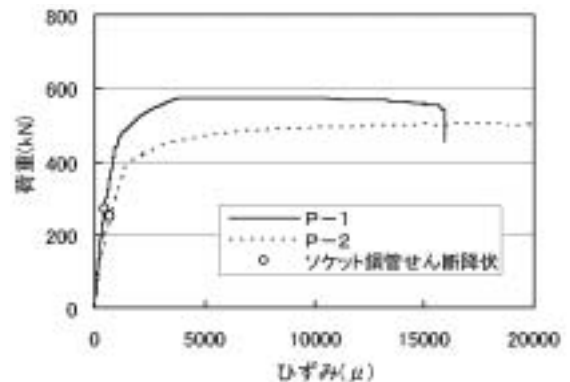


図10：荷重・ひずみ関係（外ダイアフラム）

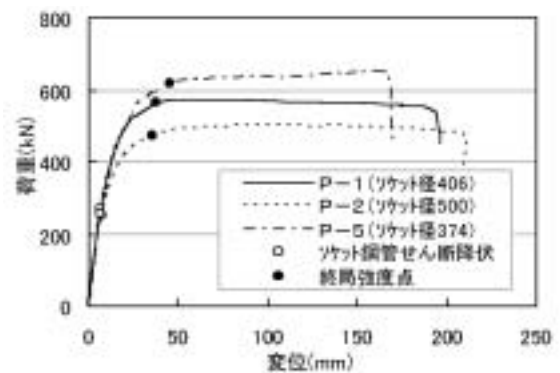


図11：ソケット鋼管径の影響

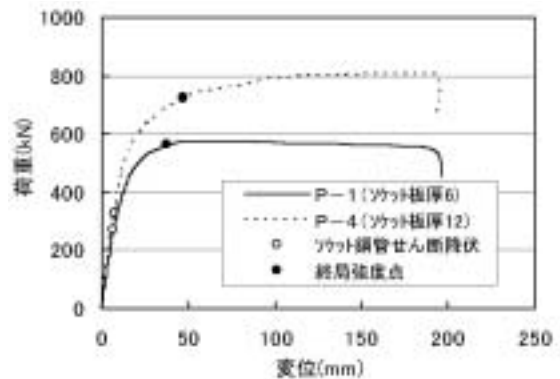


図12：ソケット鋼管厚の影響

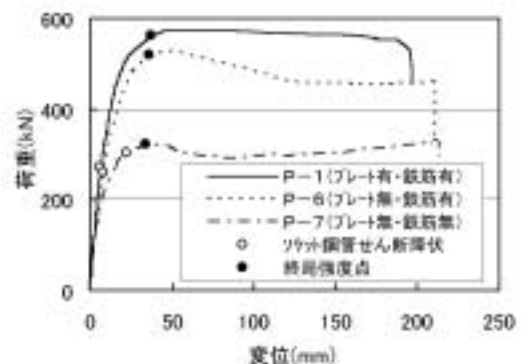


図13：ずれ止めプレート及びずれ止め鉄筋の影響

図より両試験体ともソケット鋼管がせん断降伏してから非線形性が表れてきているが、それ以降ソケット鋼管の負担する荷重が板厚の違いにより異なるため、終局強度の差になって表れたものと推定される。

このことは、本接合部の終局強度は、ソケット鋼管と外ダイアフラムの両者が個々あるいは相互的に耐荷機構を形成していることを意味すると考えられる。

### (3) ずれ止めプレート及びずれ止め鉄筋の影響

ずれ止めプレートを無くしたP - 6試験体は、ずれ止めを設けたP - 1試験体と比較して初期剛性、終局強度とも下回る結果となった。従って、ずれ止めプレートは剛性、終局強度ともに影響があることがわかる。

ずれ止めプレート及びずれ止め鉄筋を無くしたP - 7試験体は、両者を設けたP - 1試験体と比較して初期剛性、終局強度とも下回る結果となった。特に、終局強度についてはP - 1試験体の約6割程度となっており、ずれ止め鉄筋の影響が大きいことがわかる。従って、本接合部の耐荷機構において、充填モルタルと柱及びソケット鋼管との間の摩擦力の伝達は抵抗要因として大きな要因となると推定される。

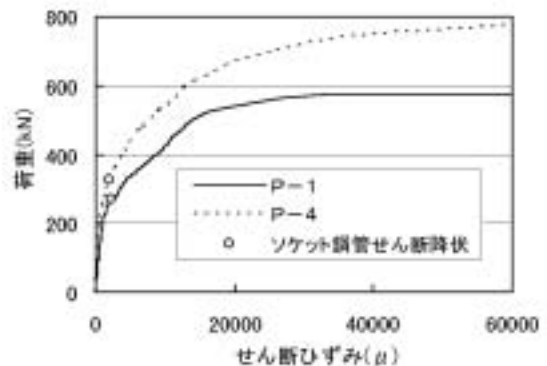


図14：荷重・せん断ひずみ関係

強度算定手法を提案し、簡便で汎用性のある設計手法を構築していく予定である。

また、本施工法における実施工上の課題として、以下の2つが挙げられる。

ソケット接合部を仮設置した状態で人工地盤を構築することになるが、その場合の構造ディテール及び安全性の検討  
ジャッキダウンの施工方法の検討

以上の実施工上の課題に対して、今後人工地盤模型を用いた施工実験を行い、課題解決を図っていく予定である。

## 4 おわりに

ジャッキダウン工法に適した接合部として、ソケット接合構造に着目し、これを柱・梁接合部に適用するための検討を行った。ソケット接合の耐荷機構及び耐荷性状を解明することを目的に、今回実施した模型試験体による載荷試験の範囲内において、以下のような知見を得た。

- (1) 本接合部の破壊形態として、外ダイアフラムの引張降伏に起因すると推定されるものとソケット鋼管のせん断降伏に起因すると推定されるものがあった。
- (2) ソケット鋼管径を大きくするに従って、終局強度は低下する傾向となった。これは、ソケット鋼管径を大きくするにつれ、外ダイアフラムの耐力が低下したためと考えられる。
- (3) P - 1試験体とP - 2試験体との形状の間に外ダイアフラムの引張降伏に起因すると推定される破壊形態とソケット鋼管のせん断降伏に起因すると推定される破壊形態の移行点があるものと推定される。
- (4) 本接合部の終局強度には、ソケット鋼管厚、ずれ止めプレート及びずれ止め鉄筋の有無が大きく影響する。今後は、今回の実験結果を踏まえ、本接合構造の終局

## 参考文献

- 1) 野澤伸一郎，林篤：線路上空に空間を創造する技術，JREA，Vol.45，No.4，pp.11-13，2002.4.
- 2) 鷹野秀明，石橋忠良，鎌田則夫，木下雅敬：柱と杭をコンクリート充填鋼管とした接合部の実験的研究，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.18，pp.1301-1306，1996.6.
- 3) 野澤伸一郎，木下雅敬，築嶋大輔，石橋忠良：コンクリート充填鋼管ソケット接合部の耐力評価，土木学会論文集，No.606/V-41，pp.31-42，1998.11.
- 4) 野澤伸一郎，木下雅敬，築嶋大輔，石橋忠良：ずれ止めを用いたコンクリート充填鋼管ソケット接合部の耐力評価，土木学会論文集，No.634/V-45，pp.71-89，1999.11.
- 5) 工藤伸司・高木芳光・木下雅敬：ソケット式柱梁接合部の耐力試験について，土木学会第52回年次学術講演会，-A218，pp.434-435，1997.9.
- 6) 小林寿子，古谷時春，木下雅敬：ソケット式柱梁十字接合部の耐力試験について，第24回関東支部技術研究発表会講演概要集，V-13，pp.582-583，1997.3.