

論文 段差付き合成床スラブの耐力に関する実験的研究

濱田 聡*1・和泉 信之*2・江口 尚之*3・浜戸 昇*4

要旨: 床スラブ中央に段差部を有するリブ付きプレストレスト合成床スラブを対象に, PC 鋼より線の表面処理および段差部への定着性能などに着目して, PC 鋼より線の引抜き実験および段差付き合成床スラブの実大鉛直載荷実験を行った。その結果, 表面にインデント処理を施した PC 鋼より線は, 素線と比較して優れた定着性能があることを示した。さらに, インデント処理によって PC 鋼より線の定着力を確保することにより, 段差付き合成床スラブは, 設計荷重を上回る十分な耐力および変形性能を有することを示した。

キーワード: 床スラブ, 合成床, プレキャスト, プレストレス

1. はじめに

近年, 集合住宅ではスケルトン・インフィルへの対応として, 床スラブの躯体に段差を設けることが求められている。また, 柱や梁を住戸内から少なくして, 住戸計画の自由度を向上させることが望まれている。これらの要求に応えるため, 著者らは, 従来の段差付き床スラブ¹⁾に比べて, スパンが 9~10m 程度と大きい大型段差付きプレストレスト合成床スラブ (以下, 段差床と呼ぶ) を開発してきた (図-1)。

段差床では, 段差が高いので, 上側および下側のリブ内に配置された PC 鋼より線が連続しないため, 床スラブの中央付近の段差部にそれぞれ定着している。そのため, 段差部における PC 鋼より線の定着性能が段差床の耐力や破壊性状に大きな影響を与える。

本研究では, PC 鋼より線の表面処理および段差部への定着性能, 段差部の補強筋に着目して, 段差床の構造性能を検討する。

そのため, まず, PC 鋼より線の引抜き実験を行い, 段差部における PC 鋼より線の付着性状を検討する。次に, 段差床の実大試験体の鉛直

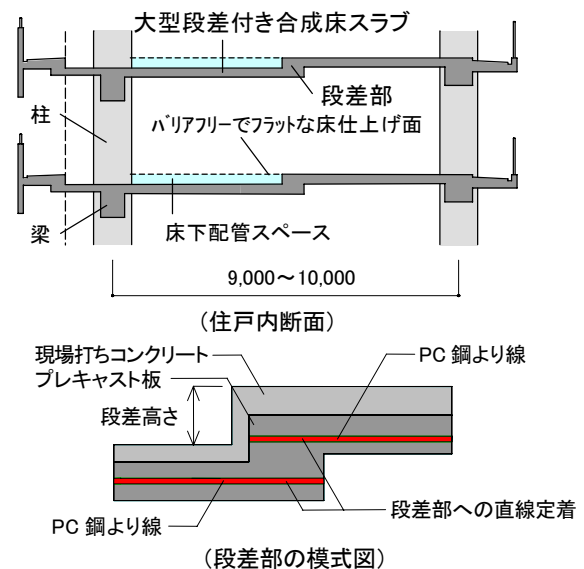


図-1 大型段差付き合成床スラブ

載荷実験を行い, 段差床の耐力, 変形および破壊性状について検討する。

2. 実験概要

2.1 実験計画

本実験では, 段差部の PC 鋼より線を対象とした「付着実験」および段差床を対象とした「段差床実験」を計画する。

*1 戸田建設 (株) 構造設計部

工修 (正会員)

*2 戸田建設 (株) 構造設計部主管

博 (工) (正会員)

*3 (株) ピーエス三菱 東京建築支店 PC 建築事業部設計部

工修

*4 (株) ピーエス三菱 東京建築支店 PC 建築事業部設計部部長

(正会員)

段差床実験の予備実験として、付着実験では、まず、表面処理状況の異なる PC 鋼より線をを用いて段差部を想定した試験体により、プレストレス導入時のストレスロスを検討する。次に、PC 鋼より線の引抜き実験を行う。

段差床実験では、PC 鋼より線の表面処理、あるいは段差部の補強詳細などが異なる実大段差床試験体を用いた鉛直載荷実験を行う。

2.2 付着実験計画

(1) 試験体概要

付着実験の試験体は、プレテンションによりプレストレスを導入した直方体コンクリートである。試験体配筋図を図—2に示す。緊張材は PC 鋼より線（7 本より、12.7φ）とし、拘束筋は段差床とほぼ同等の横補強筋比とする。試験体は、PC 鋼より線を素線のまま使用したもの 1 体と付着性能を向上させるために PC 鋼より線に表面処理を施したものの 3 体の計 4 体とする。PC 鋼より線の表面処理は、インデント処理、接着剤による砂塗布などである。また、付着区間の長さは段差床の段差部に相当する長さとし、引抜き端側の試験体端部は、コンクリートのコーン破壊による有効付着区間の変動を防止するため、PC 鋼より線とコンクリートの付着を絶縁した。試験体の材料諸元を表—1に示す。

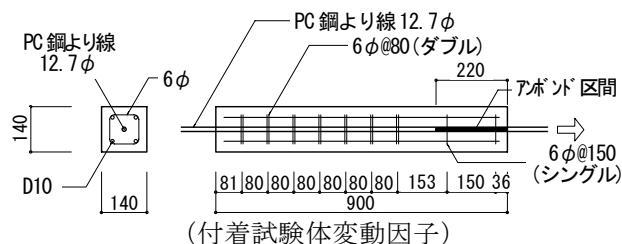
(2) 載荷方法

引抜き力は、センターホールジャッキにより PC 鋼より線に作用させ、加力は単調載荷とする。加力装置を図—3に示す。

2.3 段差床実験計画

(1) 試験体概要

段差床実験の試験体は、実大規模の段差付きプレストレスト合成床スラブ試験体である。プレキャスト板は主筋方向に T 型リブを有し、リブ内にプレストレス導入用の PC 鋼より線を配置している。上側および下側の T 型リブ内に配置した PC 鋼より線は、それぞれ段差部に定着している。試験体は、実部材と同様にプレストレスを導入したプレキャスト板を製作した後、上部のコンクリートを打設して合成床スラブと



(付着試験体変動因子)

試験体	PC 鋼より線の表面処理方法
PC1	素線(無処理)
PC2	インデント処理
PC3	インデント処理+表面粗し*
PC4	エポキシ接着剤+砂塗布

* PC3 は、PC2 の PC 鋼より線の表面をサンドペーパーにて一様に目粗ししたもの。

図—2 付着試験体

表—1 付着試験体の材料定数

(a) コンクリート 単位：(N/mm²)

試験体	σ_{B1}	σ_{B2}
PC1	42.0	48.5
PC2	45.0	53.1
PC3	43.4	50.0
PC4	41.0	49.5

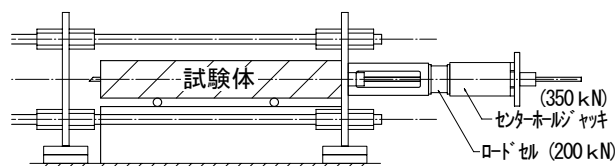
σ_{B1} ：プレストレス導入時 σ_{B2} ：引抜き実験時

(b) 鉄筋 単位：(N/mm²)

径	降伏強度	引張強度
6φ	421	591
D10	375	528

(c) PC 鋼より線(SWPR7BL) 単位：(N/mm²)

種類	降伏強度	引張強度	ヤング係数
素線	1710.9	1858.4	195.0×10^3
インデント	1752.6	1955.2	192.3×10^3



図—3 付着試験体載荷方法

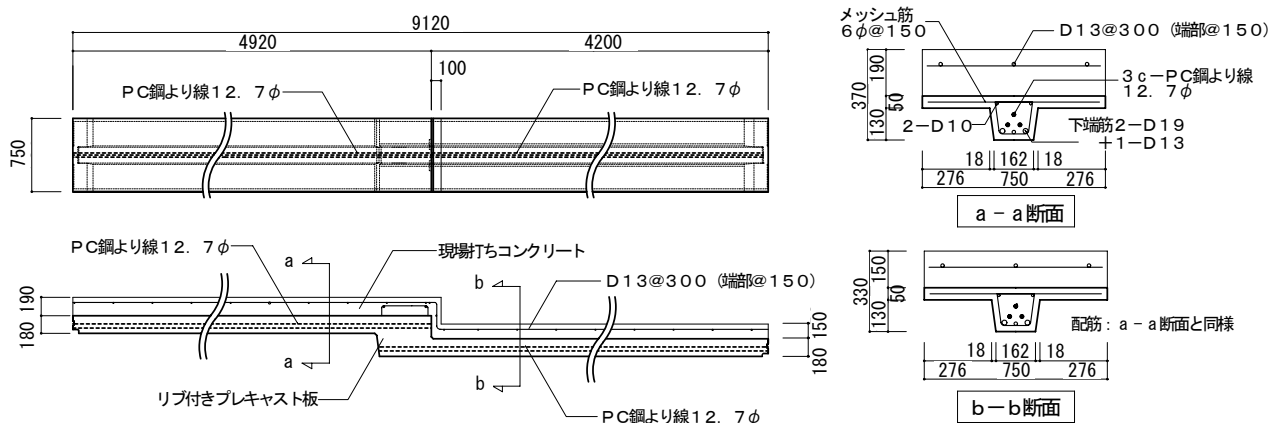
する。図—4に試験体配筋図を示す。

試験体は 5 体であり、その変動因子は、表—3に示すように、主筋の段差部への定着方法および PC 鋼より線の表面処理方法とする。

PC 鋼より線の表面処理方法は、素線のほかにインデント処理、インデント処理後に表面粗しを施したものとする。段差床試験体の材料定数を表—4に、プレキャスト板の段差部詳細を図—6に示す。

(2) 載荷方法

載荷方法は、試験体両端を仮想反曲点位置でピン支持とし、中央 2 点に鉛直方向荷重を載荷



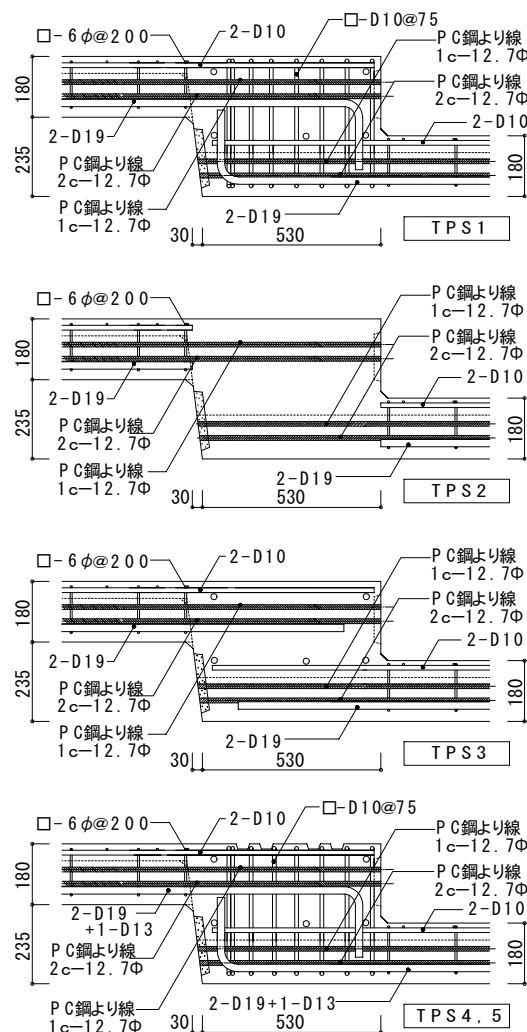
表—3 段差床試驗體要因一覽

試験体	段差部定着筋	段差部補強	PC 鋼材
TPS1	主筋+PC 鋼材	有	素線
TPS2	PC 鋼材のみ	無	素線
TPS3	主筋+PC 鋼材	無	素線
TPS4	主筋+PC 鋼材	有	インデント
TPS5	主筋+PC 鋼材	有	インデント+粗

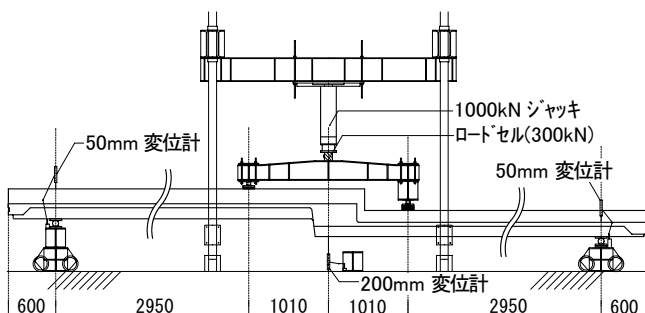
表—4 段差床試験体の材料定数

試験体	一日強度	試験日強度 ()内材齢	
	プレキャスト板	プレキャスト板	上部コンクリート
TPS1	37.0	62.7 (24)	23.3 (14)
TPS2	35.0	59.3 (25)	22.0 (12)
TPS3	37.0	62.7 (24)	23.3 (14)
TPS4	56.0	77.9 (18)	22.0 (11)
TPS5	56.0	77.5 (20)	23.6 (13)

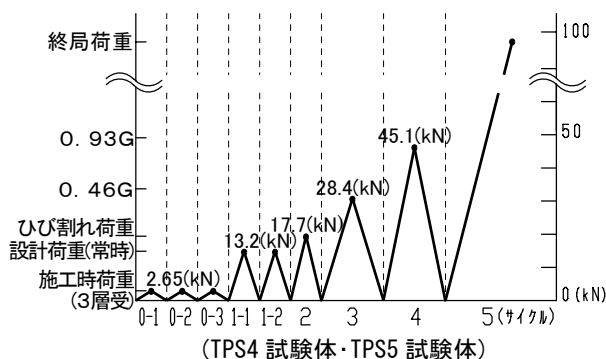
試験体	降伏点強度	引張強度	ヤング係数
TPS1	1710.9	1858.4	195.0×10^3
TPS2			
TPS3			
TPS4	1752.6	1955.2	192.3×10^3
TPS5			



図—6 プレキャスト板段差部詳細



図—7 段差床実験載荷方法



図—8 段差床実験載荷履歴

当する荷重で2回の繰り返し載荷を行った後、ひび割れ計算荷重、およびレベル1、レベル2の上下方向地震時荷重を上回る想定荷重でそれぞれ1回ずつ繰り返し、破壊荷重まで載荷する。載荷履歴を図—8に示す。

3. 実験結果

3.1 付着実験結果

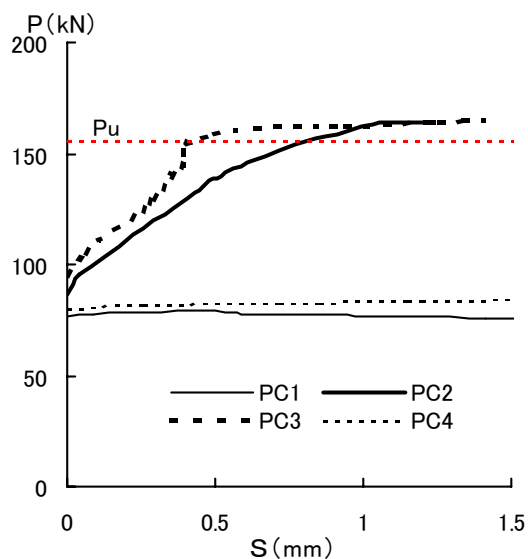
(1) 荷重変位関係

付着試験体の引抜き荷重—変位関係を図—9に示す。図中の P_u はPC鋼より線の規格降伏点荷重である。PC1試験体（素線）およびPC4試験体（エポキシ接着剤+砂）では、最大荷重がPC鋼より線の降伏荷重に達していない。これに対して、PC2試験体（インデント）およびPC3試験体（インデント+粗面）では、最大荷重がPC鋼より線の降伏荷重に達しており、十分な定着耐力が確保されていることがわかる。

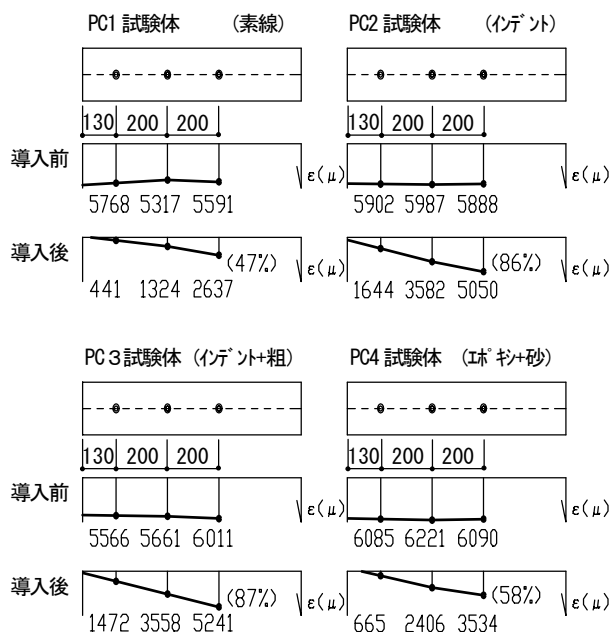
(2) PC鋼より線のひずみ度分布

各試験体のプレストレス導入前と導入後のPC鋼より線のひずみ度分布を図—10に示す。プレストレスは、PC鋼より線にプレテンションを与え、引抜き端側を固定した状態でPC鋼より線を切断して、試験体に導入した。

PC1試験体（素線）およびPC4試験体（エポキシ接着剤+砂）では、導入前に対して導入後の引抜き端位置でのひずみ度は、それぞれ50%前後まで減少している。これに対して、PC2試験体（インデント）およびPC3試験体（インデント+粗面）では、導入前に対して導入後の引



図—9 付着試験体荷重—変位関係



注：（ ）内は導入前に対する比率を示す。
導入後のひずみ度分布は、引抜き荷重載荷前の値を示す。

図—10 付着試験体ひずみ度分布

抜き端位置のひずみ度は、それぞれ 90%程度であり減少量が小さい。表面にインデントを設けた PC 鋼より線による引抜き端位置でのストレスは、素線のものに比べ非常に小さく付着性能に優れていることがわかる。

3.2 段差床実験結果

(1) 実験経過

実験終了時のひび割れ状況を図—11に示す。段差部の横補強筋が無く、主筋が定着されていない TPS2 試験体では、段差部でずれが生じて破壊した。主筋が直線定着された TPS3 試験体では、リブ下端にひび割れが発生した後、段差部横のひび割れが段差部下面を貫通した。

一方、素線の PC 鋼より線を用いた TPS1 試験体では、リブ下端にひび割れが発生し、主筋の降伏後はひび割れ幅が大きくなり変形が進んだ。インデント処理した PC 鋼より線を用いた TPS4 および TPS5 試験体では、ひび割れがリブ下端に分散して発生しており、典型的な曲げ破壊の性状を示した。ひび割れは施工時荷重まで観測されず、発生後もあまり進展しなかった。

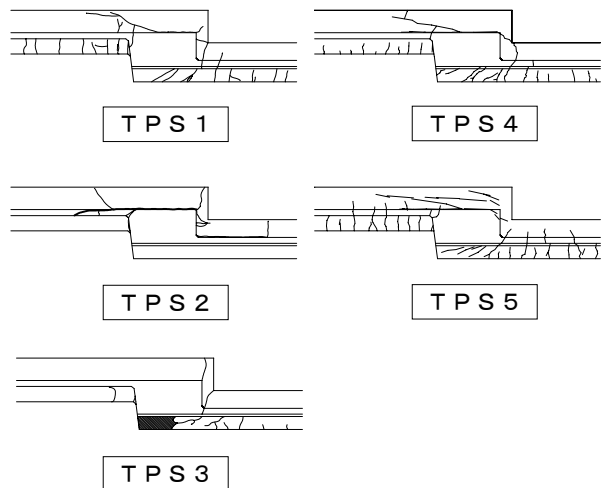
(2) 荷重変位関係

各試験体の荷重—変位関係を図—12に示す。段差部補強のない TPS2 および TPS3 試験体では、段差部のずれ破壊を生じた。

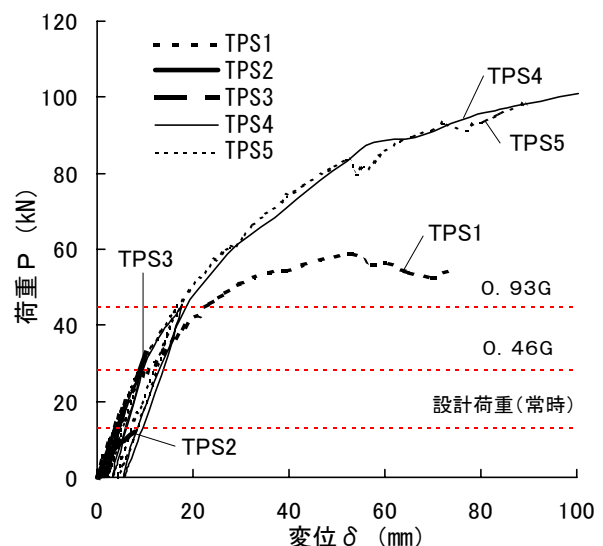
一方、段差部が補強された TPS1 試験体では、段差部横で主筋が降伏し、設計荷重を上回る耐力が得られ、急激な荷重低下は見られなかった。さらに、インデント処理した PC 鋼より線を用いた TPS4 および TPS5 試験体は、設計荷重を上回る十分な耐力が得られ、荷重低下は見られなかった。この両試験体は、包絡線、履歴ともほぼ同等であり、鋼材表面処理による差異は特に見られなかった。

(3) PC 鋼より線導入時ひずみ度分布

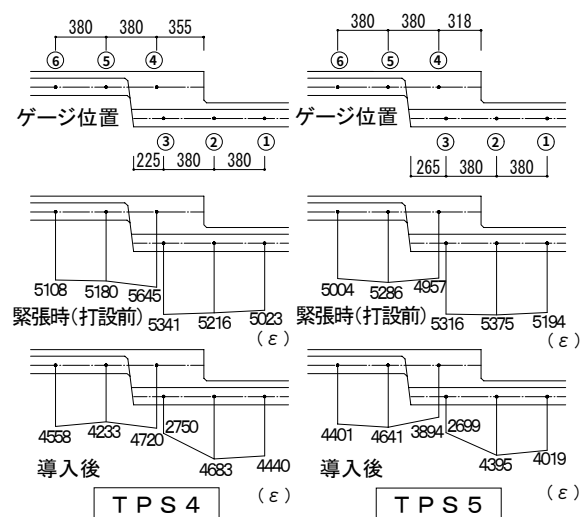
TPS4 および TPS5 試験体のプレストレス導入時の PC 鋼より線のひずみ度分布を図—13に示す。段差部と床板の境目となる断面位置（ゲージ位置②⑤）においてほぼ良好なプレストレスが導入されていることがわかる。



図—11 段差床実験終了時のひび割れ状況



図—12 段差床試験体荷重—変位関係



図—13 PC 鋼より線導入時ひずみ度分布

4. 実験結果の考察

(1) PC 鋼より線の平均付着応力度

付着試験体における PC 鋼より線の平均付着応力度を図—14 に示す。PC1 試験体における素線のままの平均付着応力度は 2.5 N/mm^2 程度であり、プレストレス導入時から増加していない。一方、PC2 試験体および PC3 試験体におけるインデント処理された PC 鋼より線の平均付着応力度は、最大 $5.1 \sim 6.4 \text{ N/mm}^2$ 程度であり、引抜き力の増大に伴い増加している。付着実験から、インデント処理された PC 鋼より線は、付着強度が素線に比べて概ね 2.0～2.5 倍程度優れていることがわかる。

(2) 段差床の終局荷重

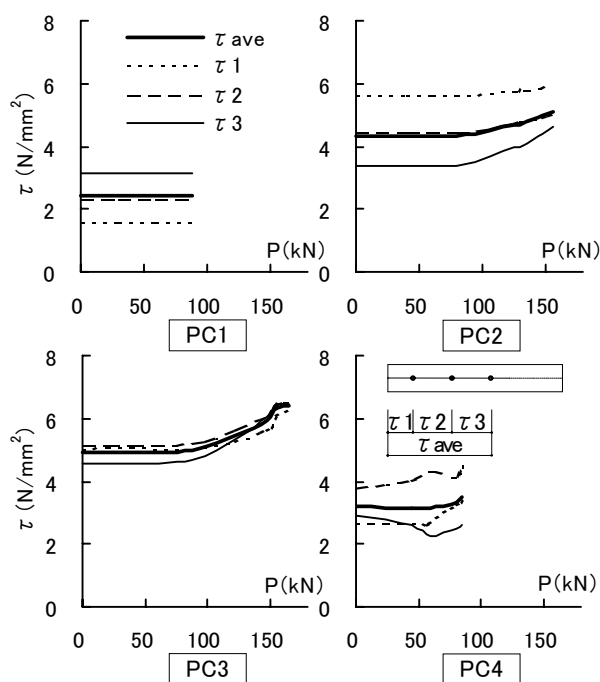
曲げ破壊した試験体 3 体について、終局荷重の計算値と実験結果の比較を表—5 に示す。PC 鋼より線の強度に付着実験から得られた最大引抜き力を用いた終局強度の計算値を示す。なお、TPS1 試験体では、PC 鋼より線の強度に降伏強度を用いた計算値をあわせて示す。TPS4 および TPS5 試験体では、計算値と実験値は非常に良く一致している。これは、終局時において段差部際の PC 鋼より線が降伏していることを示唆しており、インデント処理した PC 鋼より線は、降伏するのに段差部の定着強度が十分であることがわかる。一方、TPS1 試験体では、実験値は PC 鋼より線の強度に降伏強度を用いた計算値を下回っており、PC 鋼より線は降伏していないものと推定される。

5. 結論

これまでの実験から得られた知見を以下に述べる。

(1) 表面にインデント処理を施した PC 鋼より線は、素線のものと比較して優れた定着性能があり、ストレスロスの抑制に有効であることを付着実験により示した。

(2) 段差付き合成床スラブにおいて、インデント処理を施した PC 鋼より線は、部材中央段差部の境目において必要プレストレスが導入され



図—14 PC 鋼より線の平均付着応力度

表—5 段差床終局荷重の計算値

試験体	終局荷重 実験値 (kN)	終局荷重 計算値 ^{*1} (kN)	実験/計算
TPS1	58.7	54.6 (95.5) ^{*2}	1.07 (0.61) ^{*2}
TPS4	98.0	99.7	0.98
TPS5	101.0	100.5	1.01

*1 終局荷重の算出は PC 規準 65 条による。

*2 TPS1 () 内数値は PC 鋼より線の降伏強度による計算値。

ていることを段差床実験により示した。

(3) インデント処理によって PC 鋼より線の定着力を確保することにより、段差付き合成床スラブは、施工時荷重、あるいは鉛直地震動も考慮した設計荷重を上回る十分な耐力および変形性能を有することを繰り返し載荷による実大規模の段差床実験により示した。

参考文献

- 1) 田中恭哉，小森清司，蓼原真一，永藤政敏：段差付 PC 合成床スラブの耐力と破壊性状に関する研究，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.17，No.2，pp.29-34，1995.6