

鉛直打継ぎにおける新旧コンクリートの打継ぎ強度に関する研究

河本 裕行¹、松下 博通¹

福岡建設専門学校

高速道路橋等の床版において、増厚工法を用いてコンクリートの打継ぎによる補修工事において早期に劣化した再劣化が報告されている。このことから、本実験では若材齢において鉛直打継ぎを行った打継ぎ面のずれによる影響および強度について検討した。その結果、打継ぎ用接着材を用いて強度が改善されても、打継ぎ界面におけるずれが大きくなる場合も見られた。

1. はじめに

近年の建設事業における公共工事予算の削減および地球環境温暖化に対するCO₂排出量の低減などを背景に建設事業が縮小化されている傾向がある。そのような背景に対し、高度成長期に建設された構造物が数多く存在し、経年劣化・計画供用期間の満了等、様々な要因により構造物を解体または補修・補強により継続使用することに対する選択が迫られている。一般的には調査・診断を行い、維持補修工事を行うことで長期的な使用が望まれており、今後も補修・補強工事の需要が高まるものと考えられる。

コンクリート構造物を長期的に使用する場合、外的要因による劣化（中性化・塩害など）が主な劣化の現象として考えられる。劣化部分を除去し補修する場合にはコンクリートの打継ぎを行う。鉛直に打継ぎものとして道路橋床版や桁などがあり、床版においては舗装および劣化部をはつり、コンクリートを健全な状態にし、その後、補修・補強材料で断面を修復する工法で上面増厚工法（図1）が補修工事として広く用いられている。上面増厚工法には補修・補強材料としてポリマーセメントモルタルや鋼繊維補強コンクリートが用いられている。しかし、既存コンクリートと増厚コンクリートの界面（打継ぎ面）には、付着材を用いておらず早期に剥離する現象が確

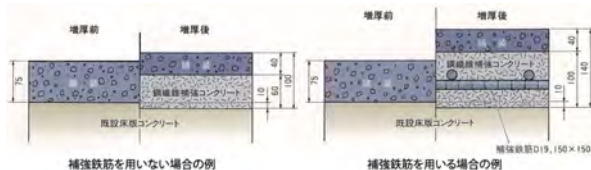


図1. 上面増厚工法の一例⁸⁾

認¹⁾されている。そのような早期劣化については剥離部の進展、ひび割れ部からの漏水等がみられるだけでなく下面のコンクリートにまで劣化が進行する場合は報告¹⁾されている。

以上のことから、維持補修工事における再劣化のない手法を確立する必要がある。そのためには、打継ぎの技術だけでなく作業員による性能の違いが起らないこと、工事における工法の適切な選定方法および想定される外力に対する簡便な計算技術の確立が必要であると考えられる。

2. 既往の研究

コンクリートの打継ぎ、道路等の床版増厚工法に対して、過去に数多くの研究が行われている。打継ぎに関して、国内においては国分が行った新旧コンクリートの打継ぎ強度に関する研究²⁾がコンクリートの打継ぎに関する研究として最も古く、同時期に狩野によるモルタルの打継ぎ³⁾がある。国分および狩野らの研究以前には吉田・久保田による「新旧混凝土の接合に就て⁴⁾」が見られる程度である。以降、鉛直・水平打継ぎの強度、透水性等耐久性に関する研究が数多く行われている。

様々な研究成果⁵⁾により、エポキシ樹脂、ポリエステル樹脂などの合成樹脂系接着剤（有機系・無機系）を打継ぎ面に塗布する方

表1. 打継ぎにおける引張強度比⁶⁾

	処理方法	引張強度の百分率(%)
水平打継ぎ面	●レイタンスを取り除かない場合	45
	●打継ぎ面を約1mm削った場合	77
	●打継ぎ面を約1mm削り、セメントペーストを塗った場合	93
	●打継ぎ面を約1mm削り、セメントモルタルを塗った場合	96
	●打継ぎ面を約1mm削り、セメントペーストを塗って打継ぎ、約3時間後に再振動した場合	100
垂直打継ぎ面	●打継ぎ面を水で洗った場合	60
	●打継ぎ面へモルタルまたはペーストを塗った場合	80
	●打継ぎ面を約1mm削り、セメントペーストまたはモルタルを塗った場合	85
	●打継ぎ面を凹凸に削り、セメントペーストを塗った場合	90
	●打継ぎ面へモルタルまたはペーストを塗って打継ぎ、コンクリートが流動化する最も遅い時期に再振動した場合	100

法から、打継ぎ面の凹凸における接着面積を大きくすることや、新コンクリート打設後一定時間において再振動締固めを行うことで、新旧コンクリートの一体性をもたせることに有効であることが知られている^{6) 7)}。しかしながら、建設工事における打継ぎ面積は非常に大きく、旧コンクリートを完全な湿潤状態に保った上で打継ぐことが困難であること、新コンクリートの自己収縮・温度応力などの影響により新旧コンクリートの付着性能が十分に得られない可能性も考えられる。また、打継部にエポキシ樹脂等の接着剤を用いる場合には打継可能時間、湿潤面への接着が適さないもの、耐熱性などの特性の評価が重要である。

3. 研究の目的

本研究では、床版や橋梁等の桁を鉛直方向に打継いだ場合（水平打継面）、打継面の強度に対する検討を行う。

既往の研究より、新旧コンクリートの接着強度に対して水平方向に打継を行った供試体による曲げ試験や直接引張試験が多くみられるが、水平打継面のせん断力によるずれの検討を行っているものは、ほとんど見られない。このことから、打継面にはたらくせん断力に着目して試験を行う。

4. 実験計画

4.1 打継面の処理方法

打継ぎ面に対する処理の方法として、表面に凹凸をつけるチップング処理、ワイヤブラシで目荒らしを行う方法、新旧コンクリートの水セメント比以下のモルタルを敷く方法が一般的な断面処理方法として使用されている。近年では、サンドブラストまたはショットブラストを用いた方法やウォータージェットを用いた手法からエポキシ樹脂接着剤等を塗布する工法などがある。本研究では、打継面のレイタンス等脆弱部は無処理の試験体、打継面をワイヤブラシで骨材表面は露出するまで

目荒らしを行った試験体について打継を行う計画とした。

断面修復に使用する打ち継ぎ用接着剤についてはエポキシやアクリル等の樹脂を主とした有機系とポリマーセメントモルタルの無機系に大別され非常に多くの製品が各種メーカーより販売されている。本研究で使用する接着剤として、土木工事において上面増厚工法に使用される接着材として、有機系接着剤の土木用高耐久エポキシ系接着剤（鹿島道路：KSボンド）とアクリルポリマーエマルジョン（ライオン：ジョイントエース）を用いた。使用するエポキシ系接着剤においては耐熱性・耐水性等の結果が明記されており、土木工事用に開発されている製品である。アクリル系接着剤においては、筆者が行った過去の実験⁹⁾において打継面の向きに関わらず良い性状を示したことから本研究では2種類の接着剤を用いた打継を行うこととした。

4.2 打継面に対する検討

本実験では、打継面のずれに対して計測することを主な目的として試験体形状の検討をおこなった。コンクリートの打継面が完全に一体となり変形する場合には打継面において図2(a)のようにずれが生じない変形を考えると考えられる。しかし、完全に一体となっていない場合には上下部材の変形において図2(b)のようにずれが生じると考えられる。このような界面のずれに対する理論として、異種材料に対する合成桁のずれとせん断力の関係を不完全合成理論としてM.N.Newmark¹⁰⁾により提唱されている。この不完全合成理論は複合構造の分野でコンクリート床版と鋼桁のずれ止め（スタッド、ジベル等）に対する検討として、広く使用されている。今回は下部コンクリートと上部コンクリートにおいて圧縮強度、弾性係数が異なること、打継界面の接着剤がずれ止めの作用として機能（ずれ止め間隔が0）していると考え、不完全合成理論の適用を検討した。

4.3 試験体

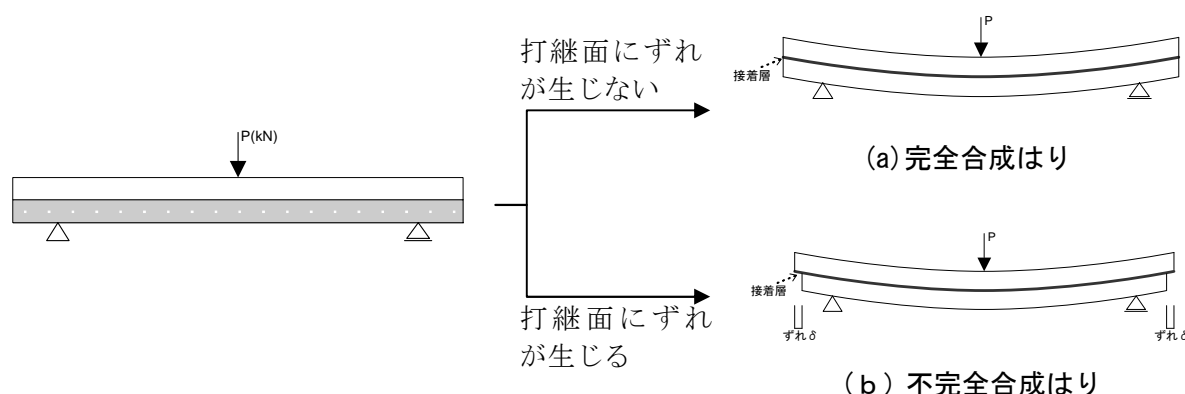


図2. 完全合成はり と 不完全合成はり

コンクリートの圧縮強度試験用供試体は、直径×高さが 10φ×20cm の円柱を用い、圧縮割裂試験用供試体は、直径×高さが 10φ×15cm の円柱とした。

曲げ試験の試験体は下部コンクリート（以下、旧コンクリート）と上部コンクリート（以下、新コンクリート）からなる鉛直打継（水平面打継）を行った試験体（図 3）を作成した。試験体数は 3 体を 1 シリーズとして作成し、実験を行った。試験体寸法は幅 B×高さ H×長さ L=100×70×400 とし、打継面は上部より 35mm の位置（試験体高さ中央）に設けた。打継用試験体は、まず旧コンクリートを打設し、打継時間間隔 24 時間後にワイヤブラシを用いてレイタンス等脆弱部を取除いた。その後、接着剤を塗布し新コンクリートを打設した。曲げ試験における試験体は、旧コンクリートのみ、新コンクリートのみの一打打ちの試験体と打継試験体（無処理+接着剤、ワイヤブラシ+接着剤）を製作した。また、実際に施工される道路橋においては、夏期の路面温度やセメントの水和発熱に伴う反応温度が 50℃ 以上になるため、炉乾燥機を用いて打設後 3 日から 7 日間、炉内温度 70℃ に設定して高温下における打継界面の影響について検討

をおこなった。

4.4 使用材料の物性および配合

実験に使用した骨材の材料の物性を表 2 に示す。粒度分布は、図 4 のものを用いた。セメントの物性は試験成績表の値を用いた。接着剤の塗布量は、表 2 に示すような値である。

配合は、新旧コンクリートともに W/C=50%、スランプ 15cm、空気量 4.5% で統一した。配合表を表 3 に示す。コンクリートの円柱供試体は標準養生（水中、20℃）とし、角柱試験体は封緘養生とした。また、標準養生と封緘養生の強度発現の違いを考慮するために、円柱供試体の封緘養生の圧縮供試体も作成した。

4.5 載荷方法および測定方法

強度試験の荷重は、500kN 万能試験機にロードセルを取り付け測定した。圧縮試験においては側面 2 面にひずみゲージを貼付し、ひずみを測定した。割裂試験は円柱の端面に縦横 2 軸にひずみゲージを貼付した。曲げ試験においては 3 等分点載荷とし、スパン中央部にて引張縁のひずみを計測し、支点と載荷点の中央にて斜め 45° 方向に 2 軸でひずみゲージを貼付して打継界面に作用するずれを計測した。各試験におけるひずみ計測位置を図に示す。載荷速度は JIS に準じて載荷を行った。

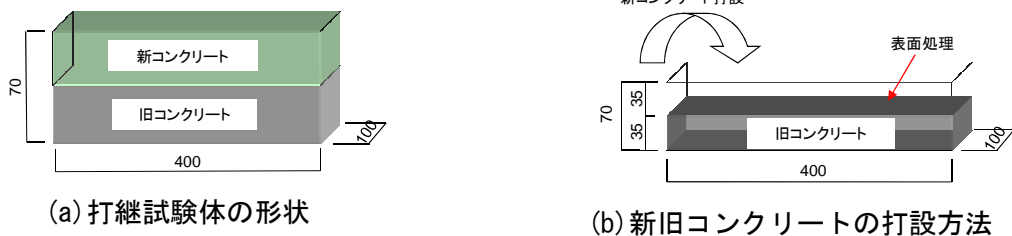


図 3. 試験体の形状と打設方法

表 2. 使用した材料の物性

セメント	普通ポルトランドセメント, 密度 ; 3.15(g/cm ³), 比表面積 ; 3520(cm ² /g)
細骨材	福岡県玄海沖産海砂, 表乾密度 ; 2.55(g/cm ³), 吸水率 ; 1.99(%), F.M. ; 2.65, 実積率 ; 62.8(%)
粗骨材	福岡県篠栗産角閃岩砕石, 表乾密度 ; 2.81(g/cm ³), 吸水率 ; 0.89(%), F.M. ; 6.83, 実積率 ; 59.4(%)
エポキシ系	標準塗布量 1.4kg/m ² (人力施工), 比重 1.4,
接着剤	可使時間 36 分/23℃, 引張せん断強さ 18N/mm ² , 曲げ強さ 63 N/mm ² , 付着強さ 2.3 N/mm ²
アクリル系	塗布量 0.3kg/m ² , 比重 1.03
接着剤	
混和剤	リグニンスルホン酸系 AE 減水剤

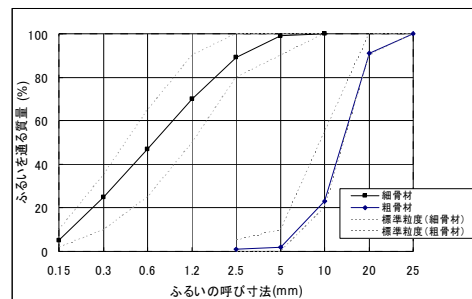


図 4. 骨材の粒度分布

表 3. コンクリートの配合表

調合強度 (N/mm ²)	スランプ (cm)	空気量 (%)	水セメント比 (%)	細骨材率 (%)	単位水量 (kg/m ³)	質量 (kg/m ³)			絶対容積 (ℓ/m ³)		
						セメント	細骨材	粗骨材	セメント	細骨材	粗骨材
38.7	15	4.5	50.0	41.4	175	348	702	1136	110	275	390

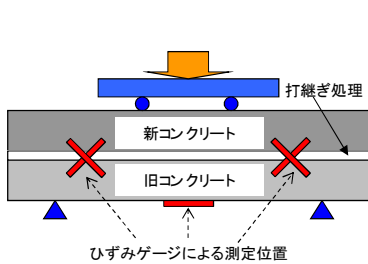


図 6. ひずみの測定箇所

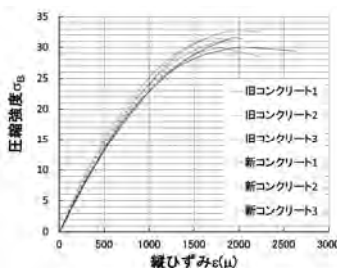


図 7. 圧縮試験 (材齢 14 日)

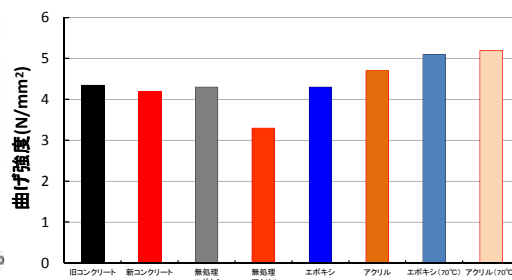


図 8. 曲げ試験結果

表 3. 強度試験結果一覧

養生方法	コンクリートの種類	圧縮強度 N/mm ²	静弾性係数 N/mm ²	割裂強度 N/mm ²
標準養生	旧コンクリート	30.8	26500	3.0
	新コンクリート	31.3	28900	2.6
封緘養生	旧コンクリート	25.9	26700	-
	新コンクリート	26.6	27200	-

5. 実験結果

コンクリートの材齢 14 日において、圧縮および割裂強度試験を行った。実験を行った結果を表 3 に示す。打継試験体は、新コンクリートの材齢が 14 日の時点で曲げ試験を行った。

5. 1 曲げ試験

新旧コンクリートの打継を行った試験体について曲げ試験を行った結果の平均値を図 8 に示す。新旧それぞれ一体打ちを行った試験体の曲げ強度に対して、脆弱部を除去し接着剤を塗布した打継試験体は、一体打ちと同等かそれ以上の曲げ強度が得られた。高温下で養生を行った試験体は接着剤に関係なく強度が上昇する結果となった。しかし、材齢が浅いためコンクリート強度が単に上昇したのと考えられるが、打継界面における脆弱性は見られなかった。打継面にそのまま接着剤を塗布した試験体はアクリル系接着剤を用いた試験体の強度が低下した。このことから打継面に脆弱部が残ると、接着剤の種類によっては強度低下をまねく恐れがあると考えられる。

試験体は全て載荷点の間で破断している。

5. 2 打継界面に作用するせん断力

本実験では、試験体が無筋であるため破壊時にコンクリート断面の引張縁から破壊する。

引張縁となる旧コンクリートの割裂試験におけるコンクリートの破壊ひずみは横ひずみで平均 220μであった。この結果より、曲げ試験における引張縁のひずみが 220μに達した時点で破壊するものとしてずれによるせん断力に対して検討を行った。

表 4 に曲げ試験強度発揮時の載荷スパン中央部における引張縁のひずみと打継面におけ

表 4. 曲げ強度試験結果一覧

試験体	曲げ強度 N/mm ²	破壊時ひずみ		
		引張縁 μ	せん断 μ	打継面のずれ μ
旧コンクリート	4.3	234	66	-
新コンクリート	4.2	276	43	-
無処理+エポキシ	4.3	304	67	47
無処理+アクリル	3.3	331	83	59
エポキシ	4.3	447	73	52
アクリル	4.7	259	264	187
エポキシ(70°C)	5.1	207	112	79
アクリル(70°C)	5.2	202	207	146

るずれにおけるひずみの関係を示す。エポキシ系接着剤を塗布した試験体は、せん断によるひずみが一体打ちと差はほとんど見られない結果となった。アクリル系接着剤についてはひずみが大きくなる傾向を示している。接着剤を用いた試験体については大小あるがどちらも打継面のずれに対するひずみが計測された。このことから、打継用接着剤を用いたコンクリートは強度の改善は大きく見られるが、ずれの方向に対する剛性に課題が残るものと考えられる。

6. 異種強度のコンクリートにより構成される合成はり

実際の上面増厚工事における旧コンクリートは鉄筋コンクリートで、新コンクリートは鋼繊維補強コンクリートまたは鉄筋コンクリート及び無筋コンクリートで施工される。このような条件下では新旧コンクリート断面の厚さの違いや剛性の違いが必ず生まれる。既往の研究においては、打継を行ったコンクリートは一体となっている条件下で弾性解析または有限要素解析を用いて解析的に検討されていることが多い。しかし、新旧コンクリートの打継界面において、接着剤や差筋による付着だけでは完全に一体となっているとは考え難いため、打継界面における接着剤がずれ止めとして作用し条件について検討を行った。

この様な条件下に対して、鋼とコンクリート合成桁などは、鋼コンクリートにおける合成断面の界面に対してずれ止めとなるジベル

等の評価に対して不完全合成はり理論¹¹⁾を用いて評価している。

6. 1 不完全合成理論

鋼コンクリート合成断面が曲げとせん断を受けた場合、コンクリート部材と鋼部材の界面でずれが生じないように両者が剛結されており、通常のはりの曲げ解析に適用している、いわゆる平面保持の仮定が合成断面にも適用できると仮定した解析理論が完全合成はり理論である。この場合、ずれ界面に作用する単位長さ当たりのせん断力 q は、以下の式で与えられる。

$$q = \frac{G_v}{I_p} S_x \dots \text{式(1)}$$

ここで G_v :合成断面の図心を通る上部の換算断面1次モーメント, I_p :図心を通る, S_x :合成断面の曲げに伴うせん断力である。

不完全合成はり理論において、鋼コンクリート合成断面における界面で単位長さ当たりのせん断力 q とずれ量 δ がつぎのような線形弾性則が与えられている。

$$q = \kappa \delta \dots \text{式(2)}$$

ここで、 κ :ずれ剛性 (比例定数) である。

本実験においては、**図9(a)**に示す集中荷重が作用する単純はりをモデルとして、新旧コンクリート打継面に作用するせん断力に対して検討を行う。

新コンクリートの断面積を A_{c1} 、弾性係数を E_{c1} 、断面2次モーメントを I_{c1} 、同様に旧コンクリートのそれらを A_{c2}, E_{c2}, I_{c2} とし、新旧コンクリートの図心間距離を y_0 とする。新コンクリートの図心に作用する軸圧縮力と曲げモーメントを F_{c1}, M_{c1} とし、旧コンクリートの軸引張力と曲げモーメントを F_t, M_{c2} とし、新旧コンクリート合成断面に作用する曲げモーメントを M_x とすれば、任意断面 $m-n$ に関するすりあい条件 (**図9(b)**) が、

$$\left. \begin{aligned} M_x &= M_{c1} + M_{c2} + F_c y_0 \\ F_{c1} - F_t &= 0 \\ dF_c - q dx &= 0 \end{aligned} \right\} \dots \text{式(3)}$$

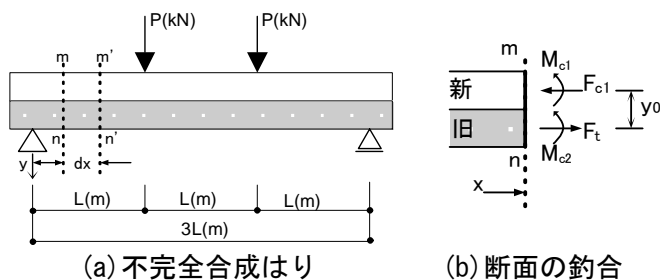


図9. 解析モデル

となる。つぎに、微小要素の釣合について新旧コンクリートの軸方向変位を u_{c1}, u_{c2} 、それぞれの鉛直たわみを v_{c1}, v_{c2} とする。さらにそれぞれの部材の曲げ剛性を $E_{c1} I_{c1}, E_{c2} I_{c2}$ 、ならびに軸剛性を $E_{c1} A_{c2}, E_{c2} A_{c2}$ とした時、新旧コンクリート境界面におけるずれ量 δ は以下の式で表せる。

$$\delta = u_{c2} - u_{c1} + y_0 \frac{dv}{dx} \dots \text{式(4)}$$

式(3)、式(4)について解くと、Newmark理論における基礎微分方程式が与えられる。

$$\frac{d^2 F_{c1}}{dx^2} - \beta^2 F_{c1} = -\alpha M_x \dots \text{式(5)}$$

ここで、

$$\left. \begin{aligned} \beta^2 &= \kappa \left[\frac{E_{c1} A_{c1} + E_{c2} A_{c2}}{E_{c1} A_{c1} E_{c2} A_{c2}} + \frac{y_0^2}{EI} \right] \\ \alpha &= \frac{\kappa y_0}{EI} \\ \bar{EI} &= E_{c1} I_{c1} + E_{c2} I_{c2} \end{aligned} \right\} \dots \text{式(6)}$$

式(5)における一般解より新旧コンクリート打継界面におけるせん断付着応力は次式となる。

$$q = A\beta \cosh \beta x + B\beta \cosh \beta x + \frac{\alpha P}{\beta^2} \dots \text{式(7)}$$

ここに、せん断力が作用する区間 (支点から載荷点の間) $0 \leq x \leq L$ は次式で与えられる。

$$q = \frac{\alpha P}{\beta^2} \left(1 - \frac{\cosh \beta x}{\cosh \beta l} \right) \dots \text{式(8)}$$

対称性により、 $2L \leq x \leq 3L$ については省略する。以上の条件より、打継面のせん断力分布は**図10**のせん断力分布が得られる。

打継界面のずれ剛性 κ を変化させた場合のせん断付着力 q の分布を**図11**に示す。図11よりずれ剛性の低下がせん断付着力の低下に大きく影響することがわかる。

本実験においては、断面せい d を小さくしスパン L に対する比 d/L を小さくすることでせん断付着力の影響に対して検討を行ったが、引張縁による破壊ひずみが先行する結果であった。また、打継に対するせん断付着力の影響に対し

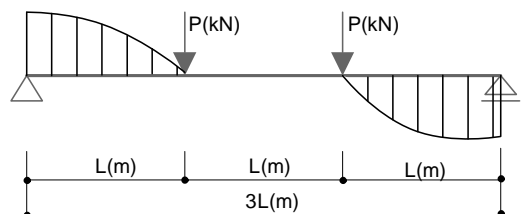


図10. Newmark理論によるせん断力分布

ては寸法の小さな縮小模型実験では計測が非常に困難である。今後は、スパンを長くしたものと及び載荷方法の改良により評価を検討する必要がある。

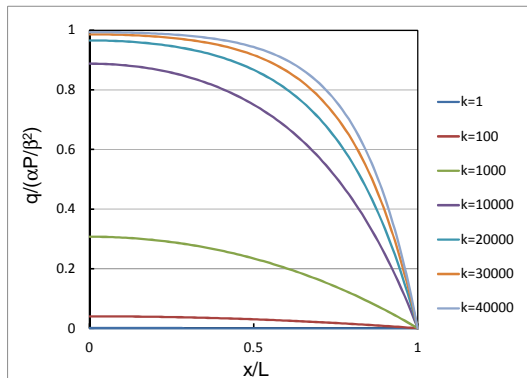


図 11. せん断付着応力の分布（ずれ剛性による変化）

7. まとめ

新旧コンクリートの圧縮強度および弾性係数が異なる条件下において実験を行った。その実験の中より以下のことがいえる。

- (1)70℃の高温下で養生を行った場合、本実験で使用した接着剤においては強度の低下が見られず一体打ちと同等の強度を示した。
- (2)打継面におけるせん断力による影響に対して実験を行った結果、強度に関して一体打ちと同等であっても打継面のずれによるひずみが大きく計測された。このことから、再劣化の予防に対して、打継界面の剛性を高める必要性があると考えられる。
- (3)不完全合成理論により打継面にはたらくせん断応力に関して検討を行った。その結果、新旧コンクリートの打継に関してもおおむね評価できるものと考えられる。

実験および解析による検討においては、まだまだ検討に対する母数が少ないと考えられる。そのため、今後も継続して打継の評価に対する検討を行っていく予定である。

実際の維持補修時におけるコンクリートの打継面において、早期の再劣化が起こらない補修を行うためにも、現場作業者によるバラつき等がない補修工法が必要である。

8. 謝辞

本研究を行うにあたり、鹿島道路株式会社の加形 護氏、伊藤 清志氏には、試験体の計画から打継試験体の施工法まで様々なご助言

をいただいた。ここに記し、感謝の意を表します。

去る平成 24 年 1 月 21 日、本研究の共同研究者であり、福岡建設専門学校校長 九州大学名誉教授の松下博通先生が他界されました。ここに記して、ご冥福をお祈りします。

参考文献

- 1) 稲葉ら：増厚されたRC床版の静的載荷試験による検討，コンクリート工学年次論文集 29(3),403-408, 2007
- 2) 国分 正胤：新旧コンクリートの打継ぎ強度に関する研究，土木学会論文集，No.8, 1950
- 3) 狩野春一：コンクリートの打継部附着強度に関する研究（モルタルによる実験），建築學會論文集(23),125-131,1941
- 4) 吉田 徳次郎，久保田 秀雄：新旧混凝土の接合に就て，土木學會誌，471-480, 1923
- 5) 長井 宏憲，野口 貴文，越替 裕彦 [他]:有機表面処理剤を用いたコンクリート打継ぎ部の特性，コンクリート工学年次論文集 29(2),217-222, 2007
- 6) 土木学会：コンクリート標準示方書 2010
- 7) 建築学会：建築工事標準仕様書・同解説 2009（JASS5）
- 8) 鹿島道路株式会社：コンクリート床版上面増厚工法
- 9) 河本 裕行，鹿島 政重，松下 博通：各種接着剤を用いた新旧コンクリートの打継ぎ強度に関する研究，第 65 回セメント技術大会，278-279, 2011
- 10) Newmark,M.N et.al. : Test and analysis of composite beams with incomplete interaction, Proc. of the Society of Experimental Analysis Vol.9, no.1, 1951
- 11) 園田恵一郎：複合構造の発展の経緯と今後の展望,第 5 回複合構造の活用に関するシンポジウム 特別講演,2003