

## 報告 Report

## コンクリートポンプ工法に用いる輸送管の摩耗に関する実態調査

原稿受付 2018年9月26日

ものづくり大学紀要 第8号 (2018) 32~37

五十嵐海南<sup>\*1</sup>, 大塚秀三<sup>\*2</sup>, 奥山夏樹<sup>\*3</sup><sup>\*1</sup>ものづくり大学 技能工芸学部 建設学科 学部4年<sup>\*2</sup>ものづくり大学 技能工芸学部 建設学科<sup>\*3</sup>ものづくり大学院 ものづくり学研究科

## 1. はじめに

昨今のコンクリート工事では、コンクリートの打込みに際してコンクリートポンプ工法を用いることがほとんどであり、施工の合理化に大きく貢献している。コンクリートポンプ工法では、コンクリートを圧送するために鋼管（以下、輸送管という）を多数連結して用いる。コンクリートを圧送する際には、輸送管内に大きな圧力が生じるため、輸送管の適切な肉厚の保持が安全性の確保には極めて重要である。一方で、輸送管内をコンクリートが流動する際には、コンクリートと輸送管との内壁に生じる摩擦抵抗によって内壁が摩耗し、圧送量に比例して輸送管の肉厚は減少する。この輸送管の摩耗による肉厚不足に起因した破裂事故は、コンクリートポンプ施工中の事故の大半を占めており、人的被害が発生した事例もある<sup>1)</sup>。

各種指針類では、輸送管の肉厚に関する管理方法としてハンマや工具等を用いた打音検査、超音波肉厚計およびアナログ機構の厚さ計（以下、厚さ計という）などを用いた検査方法が示されており、摩耗限界肉厚の目安が示されている<sup>2)</sup>。打音検査は、ハンマや工具等で叩いた打音を検査者の感覚により判定するため、個人の主観に基づいた不明確な判定になりやすい。超音波肉厚計による点検は、局所的に定量的な測定が可能であるものの、面的に摩耗状態を捉えるには多くの労力を要することに加え、探触子の接触状態によってはばらつきが生じ、危険側に判定される可能性がある。厚さ計は、測定部が輸送管の端部付近しか届かず輸送管の中心部付近の測定ができない可能性がある。また、摩耗限界肉厚は、土木学会、日本建築学会、日本コンクリート工学会および日本建設機械工業会の基準において、標準圧管 1.0mm、中圧管 2.0mm、高圧管 3.0mm と目安が定められている。しかし、有効桁数小数点以下 1 桁の管理は、現状の検査方法において相当の精度が要求され実務上の運用の障壁となることが懸念される。また、圧送業者の所有する輸送管が多数となることに加え、輸送管の肉厚に関する測定位置および測定箇所数などの具体的な方法が明示されておらず、有効に運用されていない懸念がある。

以上の背景を踏まえて、本報告では輸送管の肉厚に関する管理方法として示されている超音波肉厚計および厚さ計を用いた測定により、コンクリートポンプ工法に用いる輸送管の摩耗に関する実態を明らかにすることを目的とした。ここでは、輸送管の摩耗状態、附着物の有無および変形等の測定部の状態、測定方法および測定機器が測定値へ及ぼす影響について検討した結果を報告する。

## 2. 調査概要

本調査で対象とした輸送管の概要を表1，調査の概要を表2および測定機器の概要を表3に示す。輸送管は，全国展開している圧送業者が実際に使用しストックヤードにて保管されていた呼び径120A（4B）および125A（5B），長さ3,000mmの輸送管（以下，使用済管という）の各々10本とした。調査の項目は，輸送管の肉厚および輸送管の状態とした。輸送管の肉厚の測定位置は，長さ方向では100mm間隔およびフランジ部分を避けた両端部とし，円周方向では120°間隔ごととし，合計で輸送管1本あたり93箇所を超音波肉厚計および厚さ計を用いて測定した。なお，厚さ計による測定は，輸送管の端部から測定可能深さ400mmまでの範囲内とした。輸送管の状態は，コンクリート，ノロおよび錆等の付着物の有無およびへこみ等の変形とし，測定値への影響を検討した。

表1 輸送管の概要

呼び径	長さ (mm)	使用状況	本数
4B	3,000	使用済管	各々10本
5B			

表2 調査の概要


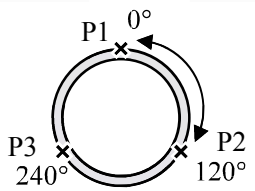
調査項目	調査内容		
輸送管の肉厚	長さ方向	@100mmおよび フランジ部分を避けた両端部 	計測回数3回 ※測定値は 最低値を採用
	円周方向	@120° 	
輸送管の状態	コンクリート，ノロおよび錆等の付着物の有無 変形		

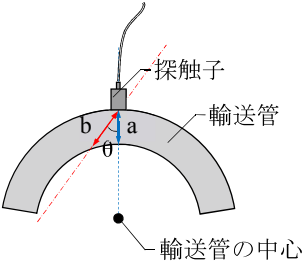
表3 測定機器の概要

測定器 (メーカー，型番)	仕様			
	測定厚さの 範囲	測定精度	表示 分解能	測定 深さ
超音波肉厚計 (A社，AD-3253B)	0.8mm～ 100.0mm	・ ±0.1mm±0.5% (測定範囲0.8mm以上40mm以下) ・ ±0.1mm±1.5% (測定範囲100mm以下)	0.1mm	—
厚さ計 (T社，GM-3)	0.0mm～ 90.0mm	±0.2mm	0.1mm	400mm

### 3. 超音波肉厚計による測定誤差の可能性に関する仮説

超音波肉厚計を用いた測定方法による測定値の影響について仮説を立ててみた。超音波肉厚計は、その原理と使用実績からすると測定方法としての有効性が確立された手法といえる。一方で、探触子の接触角度によって超音波の入射角による往復に要する時間の遅れに起因して測定値にばらつきが生じる可能性がある。そこで、探触子を輸送管に接触させる際の接触角度の変化による測定値の差異について算定した。探触子の接触角度と測定肉厚を表4に示す。摩耗限界肉厚の目安である小数点以下1桁で管理する場合、標準圧管では $25^\circ$ 、中圧管では $18^\circ$ 、高压管では $15^\circ$ の範囲内であれば0.1mmの精度で測定が可能である。すなわち、高压管ではラフに探触子を接触させると実際よりも厚く測定することとなり危険側の判定となる恐れがある。標準圧管では高压管に比べ、ある程度ラフに測定しても判定への影響が小さいと言えるが、標準圧管はそもそもの厚みが薄いためわずかな誤差によって危険側に判定される懸念がある。これらのことより、試験者の技量と作業の正確性が高度に要求されることとなり、検査の専門家以外が運用するには困難となる可能性が示唆される。

表4 探触子の接触角度と測定肉厚

	実際の肉厚a (mm)			標準圧管			中圧管			高压管		
	1.0			2.0			3.0					
測定肉厚 b (mm)	1.1	1.2	...	2.0	2.1	2.2	...	3.0	3.1	3.2	...	4.0
肉厚誤差 (mm)	0.1	0.2	...	1.0	0.1	0.2	...	1.0	0.1	0.2	...	1.0
接触角度 (入射角) $\theta$ ( $^\circ$ )	25	34	...	60	18	25	...	48	15	20	...	41

## 4. 結果および考察

### 4.1 輸送管の摩耗状態および測定部の状態による測定値への影響

超音波肉厚計を用いた使用済管の長さ方向における測定位置ごとの肉厚の一例を図1、円周方向における測定位置ごとの肉厚の一例を図2に示す。長さ方向における肉厚は、測定位置によるばらつきが生じた。これと同様に、円周方向における肉厚も測定位置によるばらつきが生じた。このことより、長さ方向および円周方向において輸送管内が均等に摩耗していない可能性がある。円周方向の摩耗においては、圧送時における配管状況により輸送管内に片減りが生じている。また、付着物を排除しなかった場合の肉厚と付着物を排除した場合の肉厚に大きな差異が生じ、付着物の量によっては超音波肉厚計での測定が不可能な測定位置も存在した。

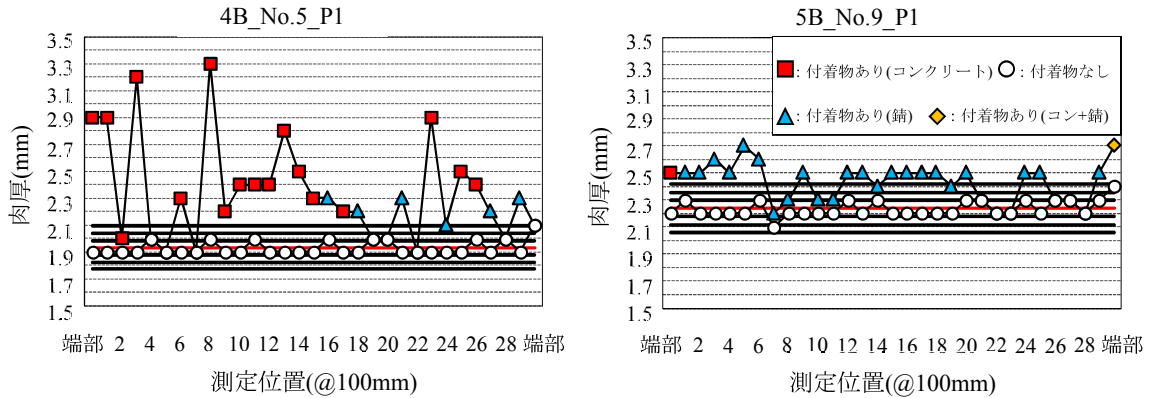


図 1 長さ方向における測定位置ごとの肉厚

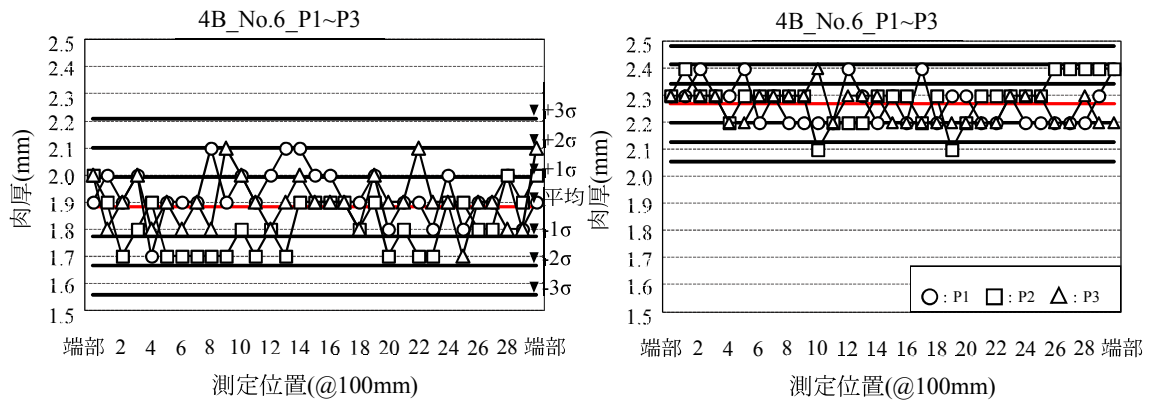


図 2 円周方向における測定位置ごとの肉厚

#### 4.2 輸送管の摩耗状態の傾向

前節 4.1 を踏まえ、輸送管の肉厚より摩耗状態の傾向について検討した。輸送管に付着したコンクリート、ノロおよび錆等を排除した場合の長さ方向の肉厚の最頻値に対する肉厚誤差を図 3、円周方向の P1 に対する P2 および P3 の肉厚誤差を図 4 に示す。長さ方向および円周方向において、肉厚誤差が生じない頻度が最も高い傾向となった。一方で、最頻値に対する肉厚誤差が 0.1mm 以上である場合も少なからず存在するため、各指針類に示されている摩耗限界肉厚の有効桁数小数点以下 1 桁での管理に影響がある可能性が示唆される。

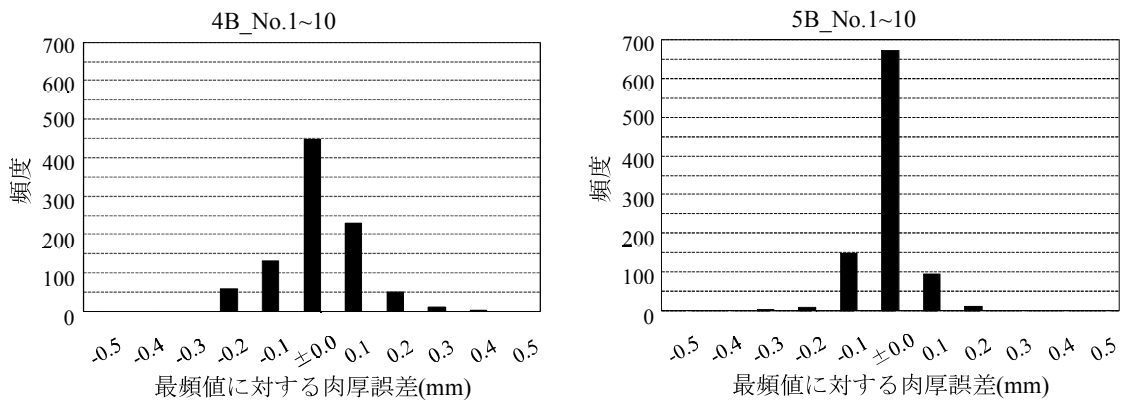


図 3 長さ方向の肉厚の最頻値に対する肉厚誤差

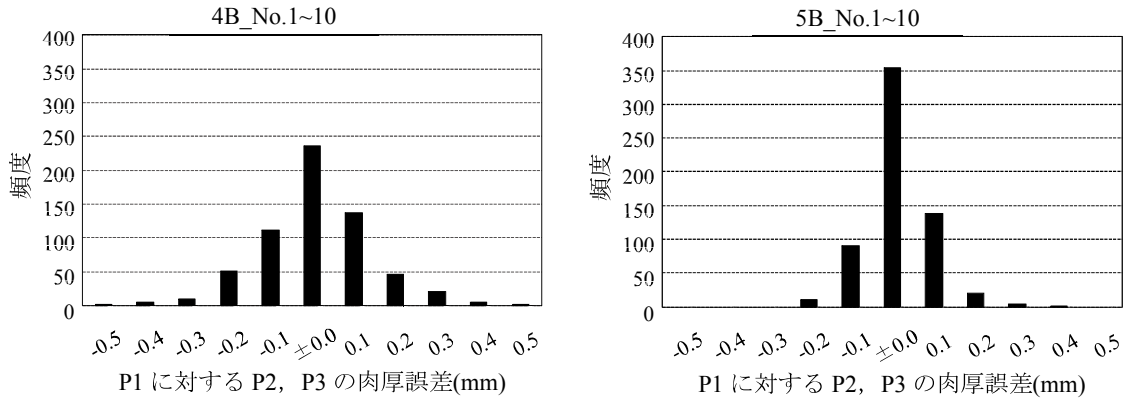


図 4 円周方向の P1 に対する P2 および P3 の肉厚誤差

4.3 測定機器による測定値の差異

超音波肉厚計および厚さ計の肉厚の一例を図5, 超音波肉厚計に対する厚さ計の肉厚誤差を図6に示す. 厚さ計を用いた肉厚は, 超音波肉厚計を用いるより顕著に小さくなる傾向を示した. また, 輸送管内に写真1に示すような付着物がある場合の肉厚は, 超音波肉厚計を用いた肉厚より大きい値を示した. 付着物の取り扱いに関して, 輸送管外部の場合は除去が容易であるが, 輸送管内部の場合は除去できる範囲に限度があるため, 測定前に輸送管内を洗浄して付着物を除去するなどの対策が必要である. 超音波肉厚計と厚さ計の測定誤差の原因は定かではないが, 両測定機器の表示分解能は同じであるため測定機器のキャリブレーションの精度によって差異が生じた可能性が考えられ, これは今後の検討課題とする.

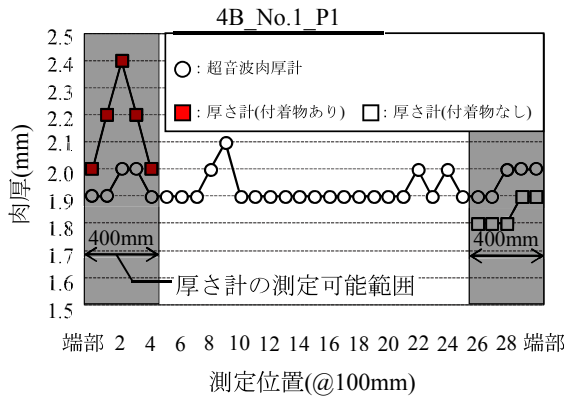


図 5 超音波肉厚計および厚さ計の肉厚

写真 1 輸送管内部の付着物(4B\_No.1)

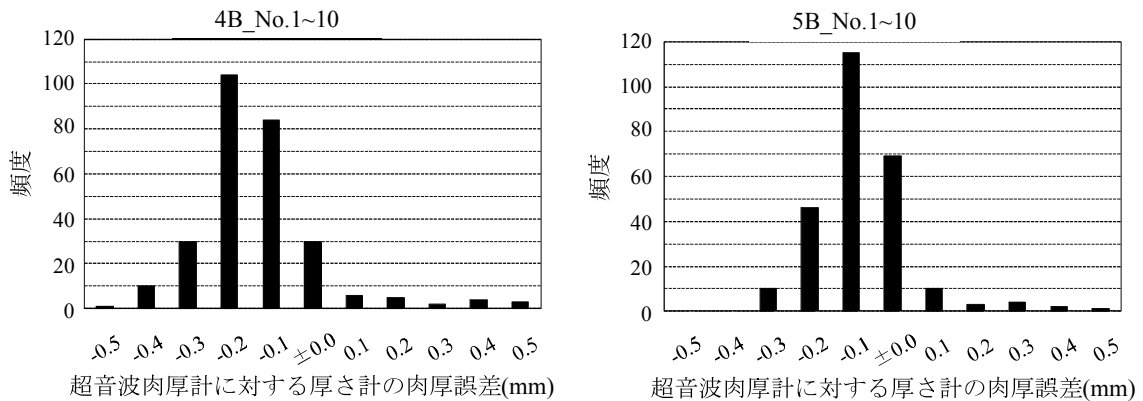


図 6 超音波肉厚計に対する厚さ計の肉厚誤差

## 5. まとめ

本調査で得られた知見を以下に示す。

- (1) 超音波肉厚計を用いた測定方法は、探触子の接触角度によって測定誤差が生じるため、試験者の技量と作業の精度が高度に要求される可能性がある。
- (2) 超音波肉厚計を用いた肉厚は、長さ方向および円周方向において測定位置によるばらつきが生じた。円周方向の摩耗は、圧送時における配管状況により輸送管内に片減りが生じている。このことより、輸送管内が均等に摩耗していない可能性がある。また、付着物を排除しなかった場合の測定値と付着物を排除した場合の測定値に大きな差異が生じた。
- (3) 厚さ計を用いた肉厚は、超音波肉厚計を用いるより顕著に小さくなる傾向を示した。また、輸送管内に付着物がある場合の肉厚は、超音波肉厚計を用いた肉厚より大きい値を示した。このことより、測定前に輸送管内を洗浄して付着物を除去するなどの対策が必要である。超音波肉厚計と厚さ計の測定誤差の原因は定かではないが、両測定機器の表示分解能は同じであるため測定機器のキャリブレーションの精度によって差異が生じた可能性が考えられ、これは今後の検討課題とする。

本調査の結果を踏まえると、表5に示す運用上の課題を検討していく必要がある。今後、継続して検討していく予定である。

表5 今後の運用上の課題と考えられる項目

検討課題	検討内容
肉厚の管理方法	輸送管の肉厚の測定箇所と測定箇所数の検討
摩耗限界肉厚の管理	管理可能な摩耗限界肉厚の設定

## 謝 辞

本調査は、平成30年度ものづくり大学教育力・研究力強化プロジェクト（プロジェクトリーダー大塚秀三教授およびプロジェクトメンバー三井実准教授）の助成を受け実施した。また、本調査に際して、日本コンクリート工学会コンクリート圧送技術調査委員会・安全性検討WG（主査：鹿島建設株式会社土木技術部・柳井修司氏）において有益なご助言を頂いた。ここに記して謝意を表す。

## 文 献

- 1) 日本コンクリート工学協会：コンクリート圧送工法ガイドライン 2009 および解説，p.30，2009.6
- 2) 例えば，日本建築学会：コンクリートポンプ工法施工指針・同解説，pp.84-97，p.149，2009.12