

## 打設したロックボルトの長さ測定に関する実験 - 超音波探傷器を用いたロックボルト長さ測定 -

福與 智\* 武内 秀木\*  
山本 一郎\* 渡邊 伸弘\*

### 要 旨

地山中に打設したロックボルトは通常、引抜き試験によって品質を管理しており、吹付けコンクリート面からのロックボルトの突出量で出来形を管理していた。日本道路公団（以下、「JH」と記述する）では、ロックボルト工の品質向上のため4m以下のロックボルトに対して長さ測定管理<sup>1)</sup>を取り入れた。しかし、それ以前に当社のいくつかの現場でロックボルト長さ測定を実施した結果では、4mよりも長いもの、4m以下であっても現場条件により長さ検知が難しいものがあった。そこで、今回の実験においてロックボルトの長さ<sup>2)</sup>と曲がりの有無、モルタルの充填率・打設位置および材令、空隙位置の水の有無等の条件を変えた供試体を超音波探傷法で長さ測定を行った。その結果、いずれの条件においても高い精度で長さを測定することができ、また、測定結果に影響を及ぼす要因を抽出することができた。

### 1. まえがき

NATMにおいて、ロックボルトは吹付けコンクリートとともに重要な支保の一つである。そして、地山と一体となってその効果を発揮するロックボルトは、経済的かつ効果的なパターンになるように、状況によっては軸力測定や地中変位測定で現設計を評価し、配置、長さ、太さ、材質、定着方式等を変更することがある。

通常、ロックボルトを打設した場合、ボルト頭部は表面に現れるため本数の確認はできるが、長さを確認することはできない。また、ロックボルト工の品質管理は引抜き試験<sup>1), 2)</sup>によって行われ、出来形管理はロックボルト頭部の吹付けコンクリート面からの突出量を目視で確認することで管理<sup>1)</sup>していた（図-1）。JHでは、平成9年10月に施工管理要領を全面改正し、ロックボルト

工の品質向上のため出来形検査として打設後の4m以下のロックボルトについて超音波探傷法<sup>2)</sup>（非破壊検査）による長さ測定管理を取り入れた<sup>1)</sup>。しかし、平成7～8年に当社のいくつかの現場で超音波探傷法によるロックボルト長さ測定を実施した結果、4mよりも長いもの、4m以下であっても状況により長さ検知が難しいものがあった（表-1）。そこで、本実験ではロックボルトの長さ<sup>2)</sup>と曲がりの有無、モルタルの充填率・打設位置および材令、空隙位置の水の有無等の条件を変えた供試体によって長さ測定を行った。その結果、いずれの条件においても長さを測定でき、測定結果に影響を及ぼす要因を抽出することができた。

本稿では、これらの実験の概要と検証した結果について報告する。

表 - 1 超音波探傷法による現場でのロックボルト長さ測定実績

ボルト種類		工事名称	測定可能率	ロックボルトの打設条況	超音波探傷法の問題点
種別	長さ(L)				
ツイストボルト	2 ≤ L ≤ 4m	磐越自動車道 黒森山トンネル	95%	・打設時に生じるボルト頭部のへこみ、変形がないこと。	・湾曲等の打設ボルト形状により測定できなくなる。 ・ボルトの本体表面形状の凸凹がある場合、途中反射の影響が大きくなる。 ・超音波をボルト軸上に伝わらせる探触子の接触方法と頭部の端面処理が必要である。
		一般国道196号 粟井坂トンネル	100%		
TD24	4 < L ≤ 6m	一般国道196号 粟井坂トンネル	70%		
	6m < L	実績なし			

\* 技術研究所

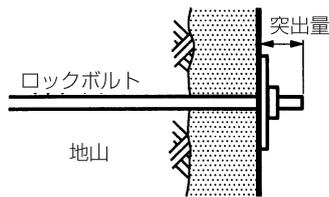


図-1 ロックボルト頭部の突出量

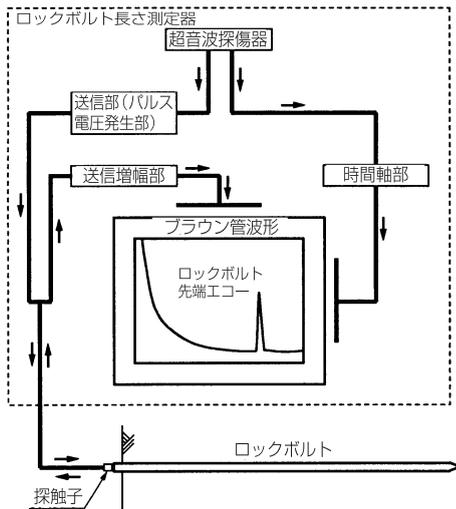


図-2 ロックボルト長さ測定器の概念図<sup>2)</sup>

## 2. ロックボルト長さ測定器の概要

ロックボルト長さ測定器としては、金属中に存在するキズの探傷および測定に通常使われる超音波探傷器を用いた。図-2にロックボルト長さ測定器の概念図を示す。長さ測定の方法は、ロックボルトの頭部(探傷面)に超音波を発信および受信することのできる探触子をあてて内部に超音波を伝搬させる。そして、ロックボルトの先端で反射して戻ってきた超音波(エコー)を探触子で受信し、送信した超音波が受信されるまでの時間を距離に換算する。その結果より、先端エコーの出現する位置をロックボルトの長さとして特定するものである。

## 3. 打設したロックボルトの長さ測定実験

### 3.1 実験の目的

現場で行ったロックボルトの長さ測定により、施工条件によって測定できるものとできないものがあることがわかっている。そこで、今回の実験では、ロックボルトの長さ測定に影響を及ぼす要因を抽出することを目的とし、現場で起こる可能性のある条件を想定した供試体を作製して実験を行った。



写真-1 ロックボルト長さ測定器

## 3.2 使用器械・資材

### 3.2.1 測定器本体

測定器本体の仕様を以下に、また、写真-1にロックボルト長さ測定器本体を示す。

名称：SONIC137 栄進化学(株)  
 本体寸法：284(W)×140(H)×402(D)mm  
 CRT寸法：58×69mm  
 重量：9.5kg(バッテリー含む)  
 使用温度範囲：0～+50

### 3.2.2 探触子

名称：アルミナ板付き垂直探触子

(株)検査技術研究所

形式：MNタイプ

### 3.2.3 ロックボルト

実験に用いたロックボルトは以下のとおりである。

名称：ツイストボルト (株)ケー・エフ・シー  
 長さ：4m、6m

### 3.2.4 モルタル

現場において、ロックボルト定着材であるモルタルは普通セメント、特殊添加剤、細砂がブレックスされたドライモルタルを用いるのが一般的である。しかし、本実験では表-2に示すドライモルタルの配合とほぼ同配合であるセメントと砂の割合が1:1のモルタルを使用した。

表-2 ドライモルタルの配合(20kg/1袋当たり)

	質量(kg)	比重	容量(ℓ)
普通セメント	9.36	3.16	2.96
特殊添加剤	0.64	2.65	0.24
細砂	10.00	2.67	3.74
小計	20.00	2.88	6.94
標準添加水	3.4～4.0	1.00	3.4～4.0
練り上り量	23.4～24.0	2.19～2.26	10.3～10.9

3.3 実験内容

実験は、ロックボルトの先端形状の違いによる先端エコーの確認を行う予備実験(CASE-1)と、打設条件を変えた供試体における先端エコーの確認を行う本実験(CASE-2)に分けて行った。なお、超音波探傷器の発信超音波は表-1の実績とJH試験方法から5MHz、92dBとした。

3.3.1 CASE-1

CASE-1の実験では、先端形状が尖塔形(通常形)と直角に加工した2種類のロックボルトを使用し、空气中で長さ測定を行った。ロックボルトの加工方法は、旋盤で先端の円錐部を削り、凹凸をなくす程度とした。図-3にロックボルトの先端形状を示す。

3.3.2 CASE-2

CASE-2の実験では、打設条件を変えた18体の供試体中のロックボルトについて長さ測定を行った。打設条件は、以下の～の項目について設定した。なお、ロックボルトは先端形状が直角のものを使用した。

- ロックボルトの長さ
- ロックボルトの線形
- モルタルの充填率
- モルタルの充填位置
- モルタルの材令
- 非充填部の媒体

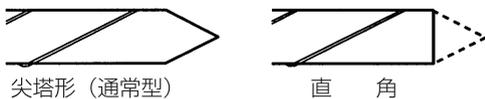


図-3 ロックボルトの先端形状

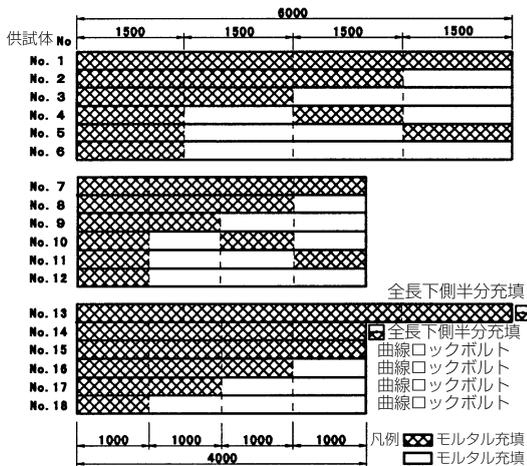


図-5 CASE-2のモルタル充填位置

具体的には、

4mと6mの長さのロックボルトを使用した。

ロックボルトの線形が直線のものとは中央部で最大10cm離れさせた曲線のものを使用した(図-4)。

モルタルの充填率は、供試体を4等分に仕切り、100%、75%、50%、25%の4種類とした。

モルタルの充填位置については、まず、ロックボルト口元側が必ず充填されていると考え、口元側1/4部分を必須充填部とした。その後、6種類の充填位置を設定した(供試体No1~12)。また、供試体No13、14は、ロックボルトの下半分だけ充填させた(図-5)、モルタルの材令は、モルタルの硬化に伴う先端エコーの影響を確認するために、打設前、打設直後、1日、3日、7日、14日、28日とした。

非充填部の媒体は、現場でモルタルが充填されていない部分が水または空気を満たされていることから、両方の状態で測定した。

写真-2に供試体の全景写真を示す。なお、ロックボルト頭部はグラインダーで平滑かつ打設方向に対して垂直になるように仕上げた。また、測定時には探触子をあてる位置を、図-5の左側にした。

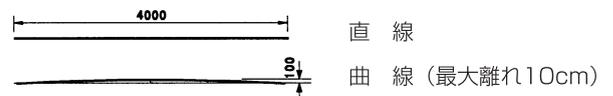


図-4 曲線ロックボルトの線形



写真-2 供試体全景

### 3.4 実験結果

#### 3.4.1 ロックボルトの先端形状による影響

写真 - 3、4 に先端形状が尖塔形と直角の4mのロックボルトを空气中で長さ測定した場合の波形を示す。先端形状が直角のロックボルトは先端での超音波の反射効率が良く、尖塔形のロックボルトに比べて先端エコーが大きくなる。なお、写真 - 3、4 とその他の波形で同じ4mのロックボルトが異なる位置に先端エコーが現れるのは、横軸のスケールを変えたためである。また、ノイズはブラウン管波形の距離が小さい位置ほど大きく現れている。これは、発信直後で減衰の少ない超音波がロックボルト表面の凹凸部で反射を起こし、探触子に受信されるためと考えられる。

#### 3.4.2 ロックボルトの長さによる影響

写真 - 5、6 に材令7日における供試体No. 1、No. 7の波形を示す。ロックボルトが短い方が長い方と比べて先端エコーが大きくなる。発信超音波はロックボルト長の2倍の距離を伝播している。すなわち、実際には4mが8m、6mが12mの距離を伝播していることとなり、測定器内で距離換算している。この長さの差が超音波を減衰させていると考えられる。

#### 3.4.3 ロックボルトの線形による影響

写真 - 7、8 に材令7日における供試体No.7、No.15の波形を示す。ロックボルトの曲がり現場で起こり得る量より大きめに設定したが、本測定において曲線ロックボルトは直線のロックボルトと比較して、先端エコーは小さくなることが確認できた。これは、ロックボルトが曲がっていることからロックボルト中を先端面まで直進する超音波が途中で反射しながら減衰するためと思われる。

#### 3.4.4 モルタルの充填率による影響

写真 - 9、10、11、12 に材令7日における供試体No.7、8、9、12の波形を示す。本実験で充填率が先端エコーに及ぼす影響は、明確には確認できなかった。しかし、低充填率の波形はノイズが大きく現れるという傾向があることがわかった。

#### 3.4.5 モルタルの充填位置による影響

写真 - 13、14、15、16 に材令7日における供試体No.9、10、11、14の4種類の波形を示す。これらは、いずれも充填率が50%で充填位置が異なる供試体である。先端エコーの明瞭さとノイズの多さをまとめると表 - 3のようになる。これらの結果からでは、モルタルの充填位置が波形に及ぼす影響の傾向が確認できない。充填位置は波形に影響が現れるほど大きな要因ではないのか、あるいは、要因ではあるが影響力が他の条件に比べて小さいと考えられる。また、超音波探傷試験では影響

評価し難い要因であることも考えられる。

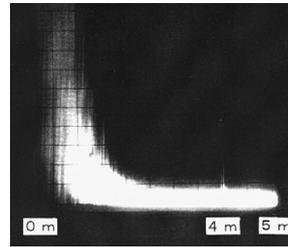


写真 - 3 (尖塔形)

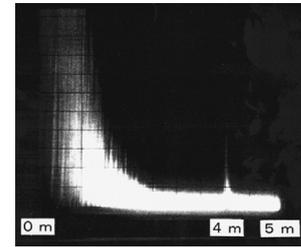


写真 - 4 (直角)

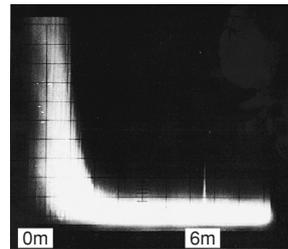


写真 - 5 (6m)

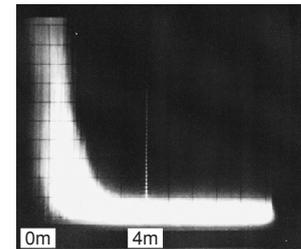


写真 - 6 (4m)

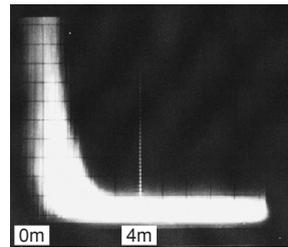


写真 - 7 (直線)

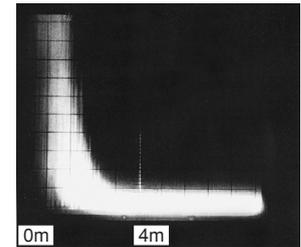


写真 - 8 (曲線)

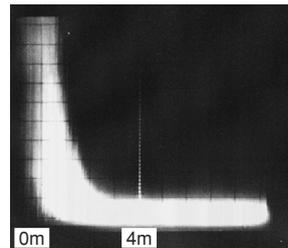


写真 - 9 (100%)

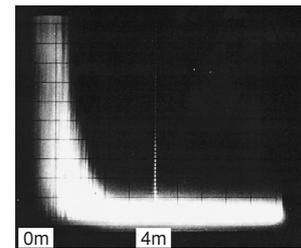


写真 - 10 (75%)

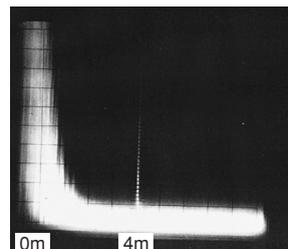


写真 - 11 (50%)

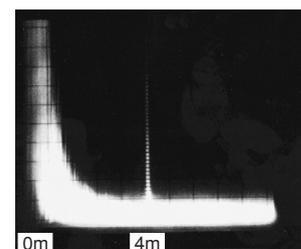


写真 - 12 (25%)

表 - 3 充填位置による波形の影響

項目	波形の順位 ( 供試体 No )
エコーの明瞭さ	No.11 > No.9 > No.14 > No.10
ノイズの多さ	No.14 > No.10 > No.11 > No.9

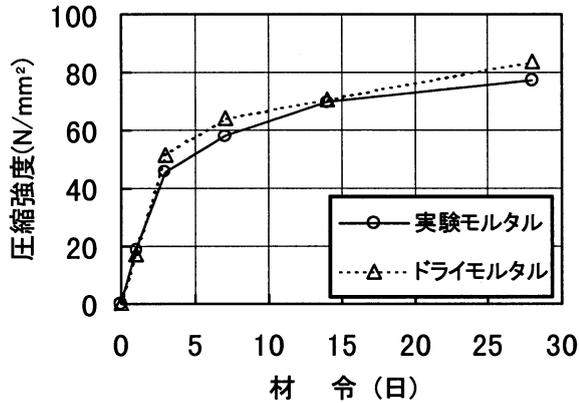


図 - 6 モルタルの圧縮強度

3.4.6 モルタルの材令による影響

写真 - 17、18、19、20に供試体No.7のモルタルの材令の違いによる波形を、図 - 6 に実験で使用したモルタルと現場で一般的に使用するモルタルの圧縮強度を示す。モルタル打設前の波形はノイズが際立って多く、先端エコーは確認できない。しかし、打設直後の波形はノイズが少なくなり先端エコーが現れ始め、時間が経つにつれ先端エコーの明瞭さが増すものの、材令7日(圧縮強度で考えた場合は約60N/mm<sup>2</sup>)以降は変化がないという傾向がある。これは、現場においてロックボルトの長さ測定を行う場合には打設後7日以降が先端エコーの現れやすい条件であることを示している。

3.4.7 モルタル非充填部の媒体による影響

写真 - 21、22に供試体No.9のモルタル非充填部に水を満たさない場合と満たした場合の材令7日の波形を示す。空隙部の媒体が波形に及ぼす影響はノイズの大きさに現れ、空隙部に何も満たさないよりも水を満たした方がノイズが少なくなるという傾向がある。

3.4.8 ロックボルト頭部の端面処理による影響

ロックボルト頭部の端面処理については、端面の研磨方向性と研磨平滑性の2つが波形に及ぼす影響は大きい。端面の研磨方向はロックボルト軸と垂直に行うことが理想であるが、研磨作業時に端面がロックボルト軸に対して直角以外の角度になることは、ロックボルト軸方向に超音波が発信されなくなり、曲線ロックボルトを長さ測定していることと同じ状態になると考えられる。

端面の研磨平滑性は凹凸が少ない状態が探触子をあて

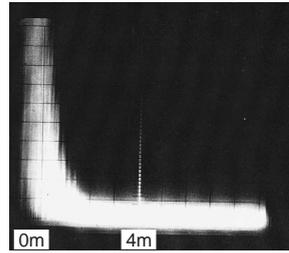


写真 - 13 (片側充填)

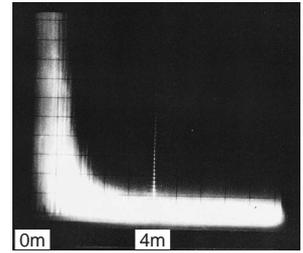


写真 - 14 (千鳥充填)

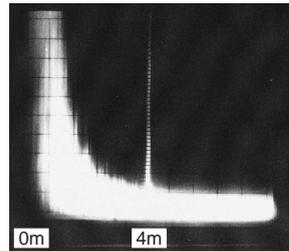


写真 - 15 (両端充填)

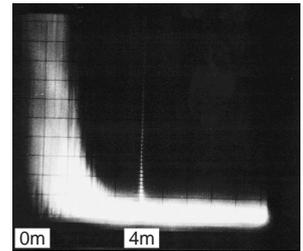


写真 - 16 (下半分充填)

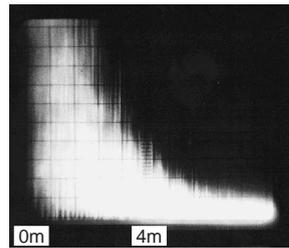


写真 - 17 (打設前)

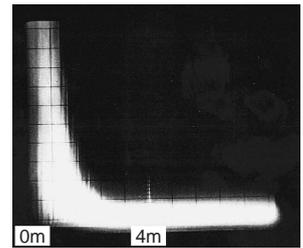


写真 - 18 (打設直後)

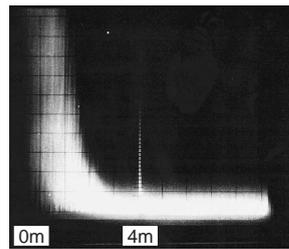


写真 - 19 (材令1日)

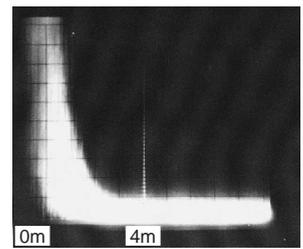


写真 - 20 (材令7日)

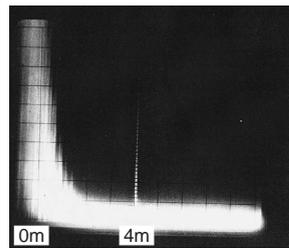


写真 - 21 (空気)

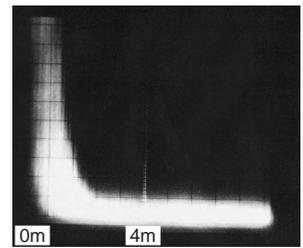


写真 - 22 (水)

るのに好条件である。これは、表面の形状に起伏が多い場合は、超音波の乱反射が生じ<sup>3)</sup>、長さ測定に障害をきたすことが考えられるからである。

### 3.4.9 探触子のあて方による影響

ロックボルト頭部に探触子をあてながら移動させたり、あてがう力を増減させると、先端エコーおよびノイズは大きく変化する。すなわち、超音波の送受信端子である探触子の僅かな位置の違いは、波形に大きな影響を及ぼすことが確認できた。測定時は、波形を明瞭かつ大きく現すために、最も先端エコーが現れる探触子の状態にすることが必要と思われる。

### 3.5 まとめ

今回の実験では、長さが4mと6mの全てのロックボルトにおいて長さを測定することができた。ただし、先端エコーおよびノイズの現れ方は、条件により違いがあった。表-4に、本実験結果から波形に影響を及ぼす要因と影響度をまとめた結果を示す。

表-4 波形影響要因と影響度

影響要因		影響度	参考すべき実験結果
ロックボルト	長さ	大	写真-5, 6
	線形	小	写真-7, 8
モルタル	充填率	普通	写真-9~12
	充填位置	未確認	写真-13~16
	材令	極大	写真-17~20
非充填部の媒体		普通	写真-21, 22
頭部の端面処理		極大	
探触子のあて方		大	

影響度は、極大 大 普通 小 極小5段階とした。

### 4. 結論

今回の実験では、超音波探傷器による打設された状態のロックボルトの長さ測定を、現場で想定される条件に近づけて行った。この結果、以下の結論を得た。(1)ロックボルトの先端形状は施工上支障がなければ直角のものを、ロックボルトを挿入することに障害があるのであれば直角先端面にプラスチック製の三角コーンを接着させたものが有効である。(2)波形影響要因として挙げたロックボルトの線形およびモルタルの充填率は、ロックボルトの施工次第では影響要因になることはない。また頭部の端面処理および探触子のあて方等の長さ測定試験時の要因は、本結果を参考にして試験を行えば影響度は少なくなる。(3)現場においてロックボルトの出来形検査として長さ測定を行う場合は、波形に及ぼす影響度の大きい要因に着目して、測定条件を向上させることが検査時間の短縮と労力の縮小につながる。

### 5. あとがき

今後はトンネルの大断面化や不良地山でのトンネル施工が多くなることに伴い、長尺ロックボルトの打設が多くなることが予想される。そのため、6mを超えるボルトにおいて、確実かつ簡単に長さが測定できる方法を確立することが必要であるが、最近では本実験当時よりも高性能化・軽量化された機器が開発されている。

また、ロックボルト工の品質をさらに向上させるためにはモルタルの完全充填が必要であるが、充填率の測定は確立されていない。本実験において、充填率が波形に及ぼす影響は大きくないことから、超音波探傷法で充填率を測定することは難しく、他の方法を開発する必要があると考える。充填率の測定は、現場に負担をかける可能性もあるが、品質保証の側面からすると重要なことであると考える。

### 謝辞

本実験を進めるにあたり、日本道路公団試験研究所トンネル研究室の吉塚守氏に貴重なご助言、ご尽力を頂きました。紙面を通じて感謝の意を表します。

### 参考文献

- 1) 日本道路公団：施工管理要領基準集、トンネル施工管理要領(本土工編)、pp.31、平成10年9月。
- 2) 日本道路公団：日本道路公団試験方法、日本道路公団規格JHS 713、平成10年10月第3刷以降の改正のため通達より抜粋。
- 3) 谷腰欣司：超音波とその使い方、pp.29~36、平成6年3月。