

IV-238

青函トンネルの渡海水準測量の解析について

日本鉄道建設公団 青函建設局 正会員 ○登坂 敏雄
 日本鉄道建設公団 青函建設局 吉川 大三
 日本鉄道建設公団 青函建設局 正会員 今村 昌弘

1. まえがき

青函トンネルは昭和39年5月に北海道側斜坑の掘削に着手して以来、実に20有余年の歳月を経て、昭和58年1月に先進道坑が、ついで昭和60年3月には本坑が無事貫通し、現在、昭和63年春の開業を目指し鋭意開業関連設備工事を進めている。

青函トンネルは図-1に示すように、海底部分23.3kmを含む全長53.9kmの長大トンネルであり、トンネル掘削のためには本州と北海道の位置関係を正確に把握することが必要条件である。本文はこの位置関係の決定のために実施した渡海水準測量の成果と、貫通後坑内を直接通して行なった水準測量の成果とを比較検討したものである。

2. 渡海水準測量の概要

渡海水準測量はウルド₂とジオジメータ₈型による三角水準測量を用いた。一般に三角水準測量では、図-2に示すように2点間の距離 S 、高度角 α 、鉛直角 β 、面差を $\frac{S^2}{2R}(1-K)$ として比高 ΔH は、 $\Delta H = Stand + \frac{S^2}{2R}(1-K) = S \cot \alpha + \frac{S^2}{2R}(1-K)$

K ……屈折係数 どもとまり、光路が円弧で近似できれば正反の同時観測を行なうことにより上式の第2項は消去され、 $\Delta H = S \cot \alpha \left(\frac{\alpha_2 - \alpha_1}{2} \right)$ で表わせる。したがって本渡海水準測量は、視準距離が23kmと長いことと高精度を要求されることから、通常は正反の同時観測を行なうことにより無視できる光の屈折や鉛直線偏差等の物理現象を厳密に考慮しなければならない。特に光の屈折の影響を補正するために、光の走路の端点近くにおけるカーブの形を見極める必要がある。このため、

①対岸にそれぞれ機載を設置し、無線機の合図によって同時観測を行なうこととし、②各測点とも標高差50m程度の下測点を設置し組合わせて1測点とした。また観測は昼夜にわけて行なうこととし、視通の良好な10月を中心として実施した。図-3は渡海水準測量網図である。

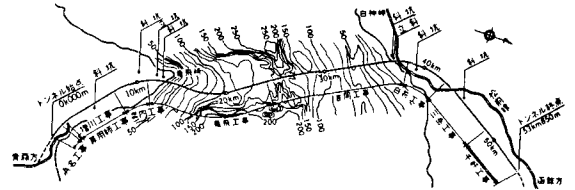


図-1 平面図

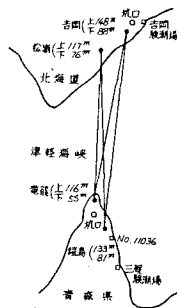


図-3 渡海水準測量網図

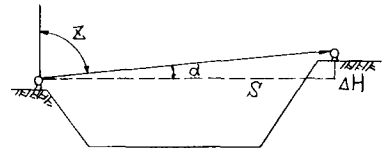


図-2 三角水準測量概念図

表-1 観測成果一覧

経緯	日	45年	46年	51年	54年	57年
別	時	分	秒	分	秒	分
電(1)	量	88.3785	30.4191	18.13635	18.13651	18.14644
	夜	1269	6.7.9932	4.1.1408	18.1.1413	18.2832
電(2)	量	3789	30.3531	18.1.2750	18.1.1977	18.2812
	夜	1031	6.1.2350	4.1.1492	18.1.2703	18.2559
観(1)	量	4754	24.1.3660	18.1.3032	18.1.3321	18.3384
	夜	0273	6.1.2226	4.1.1280	18.1.1142	18.2542
観(2)	量	4011	24.1.2630	18.1.2928	18.1.1856	18.2060
	夜	3177	6.1.5614	4.1.1845	18.1.1472	18.3613
電(3)	量		4560			
	夜		2274			
電(4)	量		2997	10		
	夜		1277	4		
観(5)	量	2915	6.1.3517	10		
	夜		2932	4		
観(6)	量	2978	6.1.3790	10		
	夜		5491	4		
平均	量	3851.120	3601.112	3336.72	2753.72	3125.72
	夜	1438.24	2762.32	1466.72	2096.72	2837.72
観測結果		58.3550	144.3378	144.2272	144.2358	144.3022

3. 観測結果

渡海水準測量は昭和45年から57年にかけて5回実施した。観測結果を表-1に示すが、夜測の方が昼測に比べ標高が低い値となっている。北海道側の精密水準の条件としては、本州側国家水準点No.11036を基準とし昭和45年度成果から吉岡(下)の標高を88m550と決定し、北海道側の工事原点とした。なお、45,46年は図-4に示す2点

同時観測法で、51, 54, 57年は図-5に示す4点同時観測法により観測した。

4. 観測結果の検討

昭和58年1月、先進導坑が貫通し直接水準測量が可能となり、実施された直接水準測量の成果と比較することにより、渡海水準測量の誤差が明らかになった。この2つの水準測量の比較は次のとおりで14.57cmの差が認められた。

吉岡(下)標高: 渡海水準測量成果 $88^m 35.50$
直接水準測量成果 $88^m 20.93$ 差 0.1457

この差の一部には、直接水準測量の誤差も含まれているが、この誤差は $\pm 2\text{cm}$ と想定されるので大部分は渡海水準測量の誤差と考えられる。渡海水準測量の誤差要因は、大別すると、a: 観測誤差、b: 地球の曲率による誤差、c: 鉛直線の傾きによる誤差、d: 大気屈折による誤差に分けられるが、a, b, cの誤差はいずれも1cm以下の誤差であり、したがって2つの水準測量の差は大気屈折を補正しきれなかったことによると考えられる。

図-6, 7は昭和45年度の竜飛—松浦、鑑島—吉岡の観測比高の変化とKの変化を示したものであるが、(1)、屈折係数は日中が小さく夜間に大きい。(2)、観測比高は日中が大きくなる傾向が有り夜間は小さい。(3)、大気屈折の誤差は日中の方が大きい。等の傾向が見られる。したがって昭和45年度の渡海水準測量と直接水準測量の差は、(a)、2点同時観測では両岸のKの変化による誤差を補正しきれず大気屈折の誤差が残っている。この誤差は日中の方が大きい。(b)大気屈折の誤差の大きい日中の観測セット数が夜間の観測セット数より多いため平均値が日中の観測値に近い値となつたためと推定される。図-8, 9は昭和51, 54年に実施した4点同時観測値と昭和45年に実施した2点同時観測値とを比較したものであるが、4点同時観測による比高は日中の観測値の誤差が小さくなっており、日中と夜間の観測比高の差も小さくなっている。このことからKの変化による誤差が4点同時観測でかなり良く消去されていることがわかる。51年と54年の4点同時観測による渡海水準測量の成果と直接水準測量の成果の差は3cm以内となる。

5. まとめ

本解析により渡海水準測量の誤差は殆んど大気屈折によることが判明した。しかもこの大気屈折による誤差は従来の定説と異なり、日中の方が夜間と比べ大きい結果となった。さらにこの誤差を消去する方法としては4点同時観測法が有効であると思われる。

最後に本解析に当り多大な御指導を頂いた弘前大学理学部、佐藤、カ石両先生に誌上を借りて感謝の意を表する次第である。

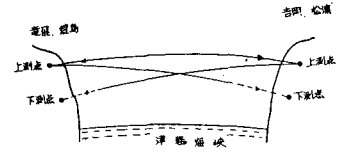


図-4. 2点同時観測法

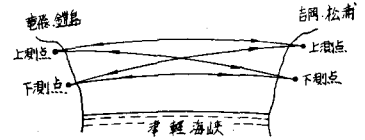


図-5. 4点同時観測法

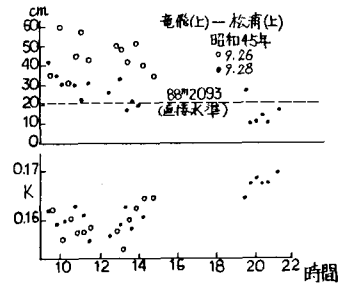


図-6. 観測比高とKの日変化

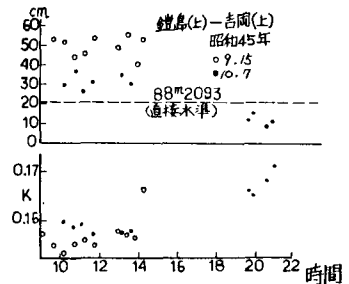


図-7. 観測比高とKの日変化

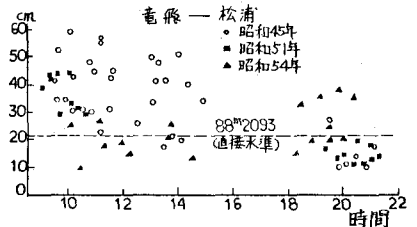


図-8. 観測比高の日変化

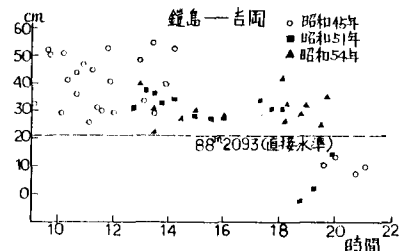


図-9. 観測比高の日変化