

GPSによる渡海水準測量

Study of Crossing River (or Sea) Leveling by GPS

中部地方測量部 白井康友・森田和幸・永田勝裕・橋本栄治・中沢律夫
阪本 稔・野尻英雄・丹羽俊廣・宮口誠司

Chubu Regional Survey Department

Yasutomo SHIRAI, Kazuyuki MORITA, Katsuhiro NAGATA,
Eiji HASHIMOTO, Ritsuo NAKAZAWA, Minoru SAKAMOTO,
Hideo NOJIRI, Toshihiro NIWA, Seiji MIYAGUCHI

測 地 部 豊田友夫, 木村 勲

Geodetic Department

Tomoo TOYODA, Isao KIMURA

要旨

GPSを利用して標高を求めるには、高精度なジオイド高（ジオイド面と楕円体面との差）が必要である。国土地理院では、重力ジオイド等により、日本のジオイド（JGEOID96）を7cm（平地のRMS）～20cm（山地のRMS）の精度で求め、一般に公表している。このジオイドを利用することにより、三角点や公共基準点の標高を求めることができる。

一方、水準点の標高は、数mmの精度を必要とするためJGEOID96を利用することができない。

本稿では、渡海水準測量において、従来の測量機器の他にGPSにより求められないか、試験観測を行ったので紹介する。

1 はじめに

渡海水準測量は、直接水準測量ができない河川や海を跨ぐような地点で実施されている。

「水準測量作業規程（案）」（平成9年度版）では、5km以内は、主にレベル（1km以内についてはトータルステーションも使用可能）を用い、それ以上の距離についてはトランシットを用いる観測方法が定められている。

これらの作業では、観測者の視準技術はもとより、それ以上に視準方向の屈折率誤差の消去が最大のポイントになる。精度をよくするためには、河原、海岸などの地形、地物の現況、水面から視準面を高くするなどの諸条件を勘案して、選定、造標、観測を行わなければならない。

GPSによる渡海水準測量は、基本的に局所的なジオイドの起伏を正確に求め、渡海点間のジオイドの起伏を推定して、ジオイド面上の高低差を求める方法である。以上の方法で直接水準測量と同等の精度を得るためには、GPS観測、ジオイド傾斜の推定及び器械高の測定の精度確保の方法を確立することが重要となる。

GPS観測の精度を確保するためには、GPS衛星の電波の最適な受信状況の確保、測定距離に応じた適切な観測時間を定めることが必要な事項といえる。

2 測量方法の考察

GPS観測から求められる高低差は、楕円体面上からの高低差である。図-1の渡1～渡2測点間のジオイド面からの高低差を求めるためには、楕円体面上の高低差にジオイド傾斜（ $J2$ ）を補正（ $j2$ ）しなければならない。渡1～渡2測点間のジオイド補正量（ $j2$ ）は、両端の渡海点付近の局所的なジオイド補正量（ $j1, j3$ ）

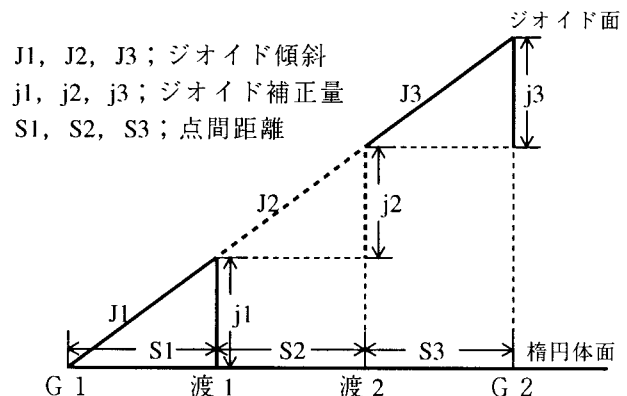


図-1 ジオイドの推定方法

から推定して求める。

2.1 選定上の留意点

- 1) GPS観測の対流圏の伝搬経路に起因する誤差を除去するため、図-1の各測点間（G1～渡1～渡2～G2）の高低差は40m以内に選定する。
- 2) 図-1の $J2$ のジオイド傾斜を正確に推定するため、G1及びG2測点は渡1～渡2測点の延長線上に選定する。

2.2 観測方法

2.2.1 局所的なジオイド傾斜

渡海水準測量に利用するジオイド傾斜は、2点間の楕円体面とジオイド面の差を一次元的に求めなければならない。

図-1のJ1, J3のジオイド傾斜は、G1測点～渡1測点間、渡2測点～G2測点間の直接水準測量（ジオイド面上）とGPS観測（楕円体面上）の高低差の差から求められる。

2.2.2 GPS観測

GPSアンテナ高を正確に求めるために、GPS観測は各測点上ではなく、各測点に隣接する地点で観測する。また、GPS観測を長時間行うことにより、距離に応じた時間的な精度が確認できるため、8時間以上の観測を行う。

2.2.3 GPSアンテナ高の測定

GPSアンテナ高は、図-2のとおり、GPSアンテナ底面（GPSアンテナ定数が既知の箇所）の器械高にアンテナ定数を加えて求められる。ただし、レベルはマイクロメータ付レベルを利用して、0.1mm単位で測定する。また、他の測点についても同様の方法で行い、標尺は零点誤差を消去するため同一の標尺を使用する。

以上の方法で求められたGPSアンテナ高は、各測点（G1, 渡1, 渡2, G2）上を基準としたアンテナ高になる。したがって、各測点から隣接する地点でGPS観測により求められた高低差は、各測点上から求められたことになる。

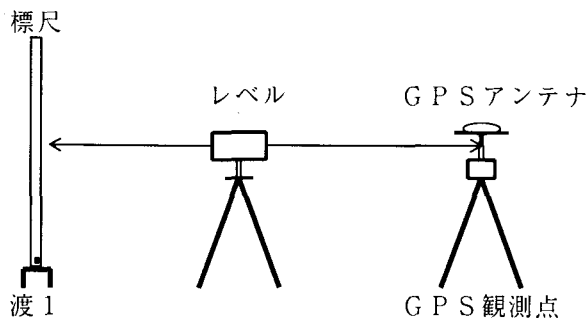


図-2 GPSアンテナ高の測定方法

2.2.4 GPSアンテナ定数の補正

GPSアンテナ定数は、米国NGSがターボログ社のアンテナを標準として測定したアンテナ定数を採用している。そのアンテナ定数は、数台の同一機種の実験結果を平均して求めており、全てのアンテナについて測定を行っているわけではない。今回のGPS観測では、1mm以内のアンテナ高の精度が必要となるため、アンテナ定数の相対的な差異を求めて、アンテナ高に補正しなければならない。

アンテナ定数の相対的な差異は、図-3のように基準とするアンテナ（アンテナ1）からGPS観測より求められた各アンテナ（アンテナ2）間の高低差（E1）と直接水準測量から求められた各アンテナ間の高低差（G1）の差（N1）により求められる。ただし、楕円体面上の高低差（GPSによる高低差）とジオイド面上の高低差（レベルによる高低差）は同次元の観測値として処理するため、ジオイドの起伏が小さい地域を検定場所とする。したがって、ジオイドの起伏は、ジオイド補正量が1cm/km（アンテナ間距離10mでジオイド補正量0.1mm）以内の検定場所が望ましい。

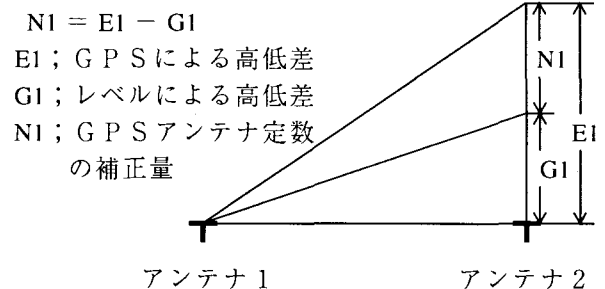


図-3 GPSアンテナ間の定数差の算出方法

GPS観測及びレベルによる測定の方法は次のとおり行う。

1) GPSによる高低差

基準とするGPSアンテナから各GPSアンテナ間の高低差は、GPS観測の結果から求められる。この高低差はGPSアンテナの位相中心から求められたことになり、真のGPSアンテナ間の高低差となる。

2) レベルによる高低差

GPSアンテナ高はレベルと標尺を利用（「2.2.3GPSアンテナ高の測定」）して、仮の測点を基準として求められる。そのアンテナ高から上記1）と同じように、基準とするGPSアンテナから各GPSアンテナ間の高低差が求められる。この高低差にアンテナ定数を補正したものが、アンテナ定数の誤差を含んだ高低差になる。

2.3 ジオイド補正量の推定

渡1～渡2測点間のジオイド補正量は次式で求められる（記号は図-1）。

G1～渡1間の1km当たりのジオイド補正量

$$j1' / \text{km} = j1 \div S1 \text{ (km)}$$

渡2～G2間の1km当たりのジオイド補正量

$$j3' / \text{km} = j3 \div S3 \text{ (km)}$$

渡1～渡2間の推定するジオイド補正量

$$j2 = ((j1' / \text{km} + j3' / \text{km}) \div 2) \times S2 \text{ (km)}$$

2.4 ジオイド面上の高低差

渡1～渡2測点間の楕円体面上の高低差とジオイド補

正量(2.3項)によりジオイド面上の高低差が求められる。GPS観測で求められる高低差は、アンテナ定数の補正等を行うことにより、高精度な結果を得ることができる。

3 フィールド観測作業内容

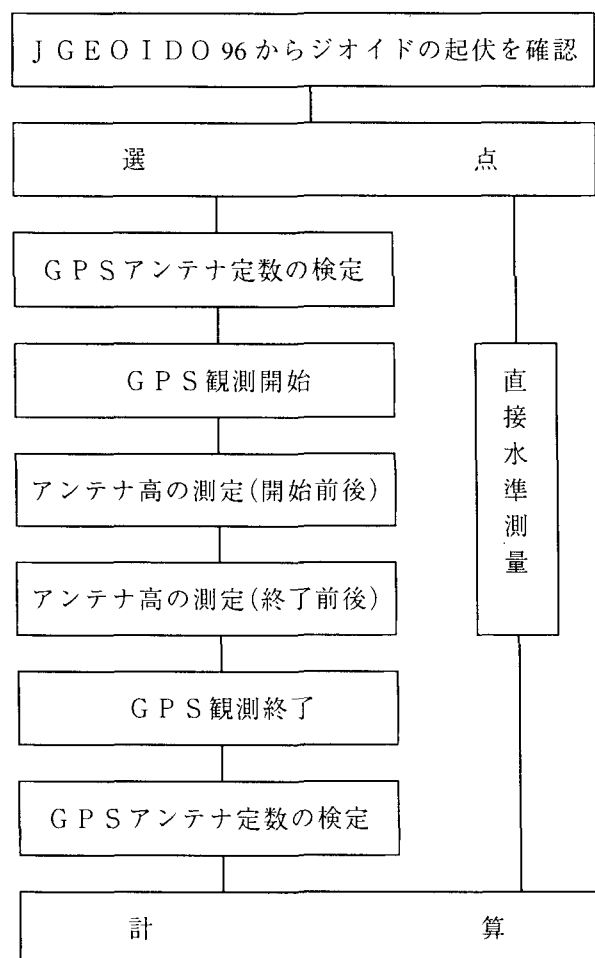
GPSによる渡海水準測量は、1年から3年までの段階的なフィールド観測作業で確立する。

1年次は「ジオイドの起伏が小さく、測点間が河川を跨ぐような1km前後の地域」、2年次は「ジオイドの起伏が大きく、測点間が1km～3kmの地域」、3年次は「測点間が3km以上の地域」の行程で実施する。

本稿では、1年次(平成9年度)に実施したフィールド観測作業について報告する。

3.1 作業工程

表-1 渡海水準測量作業工程



3.2 GPSによる渡海水準測量

3.2.1 実施地域

JGEOID96を参考として検討した結果、ジオイドの起伏が小さく、渡海(渡河)水準測量に適した地域とし



図-4 実施地域

て、三重県内の長良川河口堰付近(ジオイドの起伏が約2cm/km)とした。同地域は毎年地盤沈下調査のために直接水準測量が実施されており、GPSによる渡海水準測量の精度を評価することができる。

3.2.2 選点

現地調査の結果、渡海水準点は、長良川河口堰付近の長良川・揖斐川を跨ぐ約1.1kmの両端の堤防上の地点を選定した(図-4)。

また、渡海水準点両端のジオイドの起伏を求めるために設置される測点は、各々の渡海水準点の延長線上約1km前後の付近で、高低差が小さく平坦な地点に選定した(図-4)。

3.2.3 GPS観測

GPS観測は、各測点(G1, 渡1, 渡2, G2)にGPS受信機とアンテナを各1台ずつ計4台を設置して、同時観測する組み合わせを1組として実施した。

1) 1回目(1997年10月)

GPS受信機及びアンテナ1組(4台)について、約6時間の観測を2日間実施した。

なお、GPS受信機は、1周波型(Trimble4000SE)3台、2周波型(TrimbleSSi)1台を使用した。GPSアンテナは、マルチパスを除去するためにグランドプレーン付アンテナ(Compact L1/L2)4台を使用した。

なお、2日目は渡2測点のGPS受信機の故障により、

渡 2 測点の観測データは得られなかった。

2) 2 回目 (1998 年 3 月)

GPS受信機及びアンテナ 2 組 (計 8 台) について、約 10 時間の観測を 2 日間実施した。

なお、GPS受信機・アンテナは、2 周波型 (Trimble 4000SSi・Compact L1/L2 WG/P) の組み合わせを 1 組と 1 周波型 (Trimble 4000SE・Compact ドーム: 3 台、Trimble 4000LS: 1 台) の組み合わせ 1 組で実施した。今回はより観測精度を上げるため、2 周波型受信機については、EVEREST マルチパス除去技術の方法を採り入れることにした。この技術は、高度なデジタル信号処理技術に基づいて設計され、GPS 信号のトラッキング回路において、マルチパス信号はほぼ完全に除去される。

3.2.4 基線解析

1) 基線解析の固定点の座標

固定点の座標は、高精度な解析を行うため、近隣の電子基準点 3 点を既知点として、三次元網平均計算により求めた。

2) 基線解析に使用した設定値等

今回は測点間の距離が短いため、1 周波 (L1) の周波数を使用して基線解析を行った。基線解析ソフトウェア及び設定値等は次のとおりである。

基線解析ソフトウェア ; GPSurvey (WAVE 2.20e)
軌道情報 ; 放送歴
周波数 ; 1 周波 (L1)
データ取得間隔 (1 回目); 30 秒
" (2 回目); 15 秒
最低高度角 ; 15 度
標準データ取得時間 ; 6 時間

3) 基線解析結果

基線解析の結果は、表-2 から表-4 のとおりである。

表-2 1 回目 (1997 年 10 月) の高低差

区 間	距 離 (km)	解析結果 (m); 楕円体高低差		
		302A	303A	較差
G1~渡 1	0.85	2.6097	2.6076	-0.0021
渡 1~渡 2	1.11	-0.9386	—	—
渡 2~G2	1.08	-5.0204	—	—

※303A (観測通算日) は、渡 2 測点の GPS 受信機故障のため、渡 1~渡 2 測点及び渡 2~G 2 測点の楕円体高低差が得られなかった。

表-3 2 回目 (1998 年 3 月) の高低差 2 周波型の組み合わせ

区 間	距 離 (km)	解析結果 (m); 楕円体高低差		
		62A	63A	較差
G1~渡 1	0.85	3.3761	3.3759	-0.0002
渡 1~渡 2	1.11	-1.6011	-1.6006	0.0005
渡 2~G2	1.08	-5.4351	-5.4365	-0.0014

表-4 2 回目 (1998 年 3 月) の高低差 1 周波型の組み合わせ

区 間	距 離 (km)	解析結果 (m); 楕円体高低差		
		62A	63A	較差
G1~渡 1	0.85	3.4514	3.4520	0.0006
渡 1~渡 2	1.11	-1.5562	-1.5563	-0.0001
渡 2~G2	1.08	-5.4585	-5.4587	-0.0002

3.2.5 GPSアンテナ高の測定

GPSアンテナ高は、三脚の浮沈等を点検するため、GPS観測開始前後及び終了前後に 2 回の測定を実施した。

1) 測量器械

マイクロメータ付レベル及び標尺は、下記の測量器械を使用した。

レベル; ウィルド N 3 (1 級レベル)
標 尺; ウィルド製標尺 (1 級標尺)

2) GPSアンテナ高算出の手順

GPSアンテナ高は、平成 8 年度に中部地方測量部森田技官が考案した方法に基づき、次のとおり実施した。

- ① レベルを GPS アンテナ下部 (アンテナ定数既知の箇所) に合わせて、マイクロメータの目盛を読みとる。
- ② レベルを反転して、標尺の目盛を読みとる。
- ③ GPS アンテナ下部の器械高は、標尺の目盛値からマイクロメータの目盛値を差し引く。
- ④ GPS アンテナ高は、GPS アンテナ下部の器械高にアンテナ定数を加える。



写真-1 GPSアンテナ定数の検定状況

3) 測定結果

GPSアンテナ高の結果は、表-5から表-7のとおりである。

表-5 1回目(1997年10月)の測定結果

アンテナ番号 (測点名) 観測 通算日		アンテナ高(m)			
		44653 (G 1)	44648 (渡 1)	44649 (渡 2)	44646 (G 2)
302A	開始	1.6912	1.6293	2.5587	1.8173
	終了	1.6902	1.6272	2.5607	1.8175
	較差	0.0010	0.0021	0.0020	0.0002
303A	開始	1.6652	2.6146	1.5572	1.5004
	終了	1.6653	2.6147	1.5571	1.5004
	較差	0.0001	0.0001	0.0001	0.0000

※観測通算日302Aは、グラウンドプレーンを視準したため、開始時と終了時のアンテナ高測定の較差が開いたと思われる。観測通算日303Aからは、GPSアンテナ下部(底面)を視準した。

表-6 2回目(1998年3月)2周波型の組み合わせ

アンテナ番号 (測点名) 観測 通算日		アンテナ高(m)			
		44649 (G 1)	44648 (渡 1)	44653 (渡 2)	44646 (G 2)
62A	開始	1.6000	2.3770	1.4116	1.2994
	終了	1.6002	2.3771	1.4114	1.2995
	較差	0.0002	0.0001	0.0002	0.0001
63A	開始	1.6122	2.5459	0.9773	1.3077
	終了	1.6123	2.5459	0.9775	1.3081
	較差	0.0001	0.0000	0.0002	0.0004

表-7 2回目(1998年3月)1周波型の組み合わせ

アンテナ番号 (測点名) 観測 通算日		アンテナ高(m)			
		179171 (G 1)	179132 (渡 1)	4981 (渡 2)	43796 (G 2)
62A	開始	1.5413	2.3898	1.4217	1.3330
	終了	1.5416	2.3898	1.4214	1.3329
	較差	0.0003	0.0000	0.0003	0.0002
63A	開始	1.6265	2.5491	0.9806	1.2350
	終了	1.6265	2.5492	0.9806	1.2352
	較差	0.0000	0.0001	0.0000	0.0002

3.2.6 GPSアンテナ定数の検定

1回目(表-5)については、GPSアンテナ定数の誤差についての認識がなく、検定作業は実施しなかった。

2回目(表-6)は、ジオイドの起伏が殆ど影響しない地域として、長良川左岸の渡2測点付近において、2

日間の検定を実施した。

なお、GPSアンテナ間は、ジオイドの影響を考慮して最短距離（約5m以内）になるように設置した。

1) 検定に使用した測量器械

① GPSによる高低差

GPS観測で使用する全てのGPSアンテナ・受信機；
8台

② レベルによる高低差

ウィルドN3（1級レベル）；1台

ウィルド製標尺（1級標尺）；1台

2) 検定状況

GPSアンテナ定数の検定は、次のとおり実施した。

① 1日目のGPS観測は、本観測の前日に3時間実施し、基準アンテナから各アンテナの高低差を求めた。また、レベルによる測定は、GPS観測前後に2回実施し、基準アンテナから各アンテナの高低差を求めた。

② 2日目のGPS観測は、本観測の前日に6時間実施し、基準アンテナから各アンテナの高低差を求めた。また、レベルによる測定は、GPS観測前後に2回実施し、基準アンテナから各アンテナの高低差を求めた。

表－8 1998年3月2日（3時間観測）の検定結果

アンテナ番号	基準アンテナ；44653からの高低差(m)		
	レベル測定	G P S 観測	定数補正量
44649	- 0.0172	- 0.0170	0.0002
44648	- 0.0002	- 0.0011	- 0.0009
44646	- 0.0061	- 0.0061	0.0000
171171	0.0045	- 0.0025	- 0.0070
179132	0.0119	0.0062	- 0.0057
43796	- 0.0157	- 0.0181	- 0.0024
4981	0.0337	0.0369	- 0.0032



写真－2 GPSアンテナ定数の検定状況

3) 測定結果

レベル測定による高低差、GPS観測による高低差及びGPSアンテナ定数の補正量の結果は、表－8から表－10のとおりである。

なお、GPS観測による高低差を基準値（GPSアンテナ位相中心からの真の高低差）としてGPSアンテナ定数の補正量が求められる。

また、表－9は3時間観測の精度を評価（表－8との比較）するために実施した。

表－9 1998年3月5日（3時間観測）の検定結果

アンテナ番号	基準アンテナ；44653からの高低差(m)		
	レベル測定	G P S 観測	定数補正量
44649	- 0.0284	- 0.0284	0.0000
44648	0.0029	0.0016	- 0.0013
44646	- 0.0170	- 0.0167	0.0003
171171	- 0.0100	- 0.0197	- 0.0097
179132	- 0.0100	- 0.0163	- 0.0063
43796	- 0.0306	- 0.0340	- 0.0034

※4981のアンテナはバッテリーの不良により測定できなかった。

表-10 1998年3月5日(6時間観測)の検定結果

アンテナ番号	基準アンテナ; 44653からの高低差(m)		
	レベル測定	G P S 観測	定数補正量
44649	- 0.0284	- 0.0298	- 0.0014
44648	0.0029	0.0007	- 0.0022
44646	- 0.0170	- 0.0176	- 0.0006

※171171, 179132, 43796, 4981はバッテリーの不良により測定できなかった。

3.2.7 直接水準測量

G 1 測点～渡 1 測点間及び渡 2 測点～G 2 測点間は、ジオイド傾斜を求めるため、直接水準測量を実施した。
また、渡 1 測点～渡 2 測点は、本調査研究の精度を評価するため、地盤沈下調査の水準点から渡 1 測点間及び渡 2 測点間の直接水準測量を実施した。なお、地盤沈下調査の水準点は直接水準測量が実施されている。

3.2.8 ジオイド面上の高低差算出のための各種計算

表-11 1 km当たりのジオイド補正量

時 期 区 間	1 回目 (H9.10)	2 回目 (H10.3)	
		2 周波	1 周波
G 1 → 渡 1	- 0.0004m	- 0.0034m	0.0053m
渡 2 → G 2	0.0091m	0.0083m	- 0.0002m

表-12 ジオイド傾斜

時 期 区 間	1 回目 (H9.10)	2 回目 (H10.3)	
		2 周波	1 周波
G 1 → 渡 1	- 0.07 "	0.70 "	1.09 "
渡 2 → G 2	1.87 "	1.72 "	0.04 "

1) ジオイド補正量及びジオイド傾斜

ジオイド補正量及びジオイド傾斜の結果は、表-11及び表-12のとおりである。

2) ジオイドの推定

渡 1～渡 2 測点間のジオイド補正量及びジオイド傾斜は、次のとおり推定した。

表-13 渡 1→渡 2 間のジオイドの推定

種 別	時 期 (H9.10)	2 回目 (H10.3)	
		2 周波	1 周波
ジオイド補正量	0.0048m	0.0027m	0.0028m
ジオイド傾斜	0.90 "	0.56 "	0.58 "

3) 最終結果

GPSによる渡海水準測量の最終的な成果は、次のとおりである。

表-14 渡 1→渡 2 のジオイド面上の高低差

種別	時 期 (H9.10)	2 回目 (H10.3)	
		2 周波	1 周波
渡海水準測量	- 0.9509m	- 0.6414m	- 0.6278m
直接水準測量	- 0.9470m	- 0.6425m	- 0.6425m
較 差	0.0039m	-0.0011m	0.0147m

※1回目の渡海水準測量の高低差は、アンテナ定数が補正されていない。

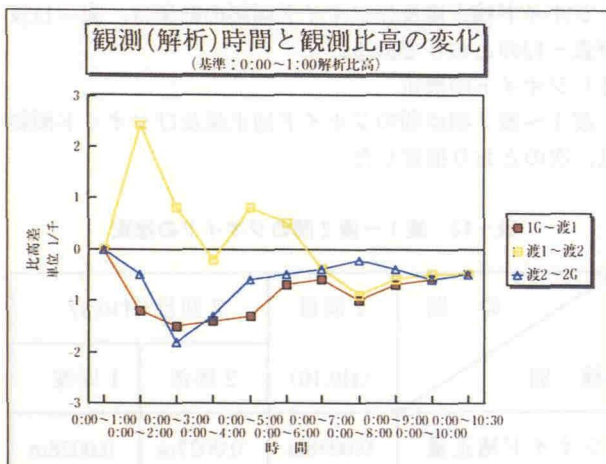
4 得られた成果

4.1 GPS観測及び基線解析

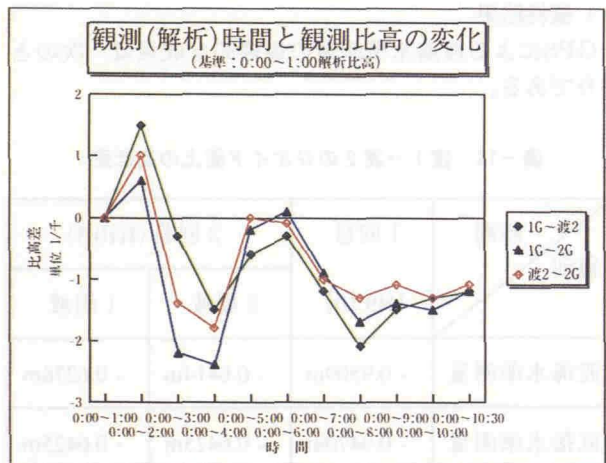
GPS観測においては、2日間の標準時間(6時間観測)による解析結果(表-3)から評価すると、約1mmの精度が得られた。

今回は、約1kmの距離についてGPS観測を実施しているが、6時間以上の観測を行うことにより、解析結果が安定する(グラフ-1)。

また、2km～3kmの距離については、9時間以上の観測を行うことにより、解析結果が安定する(グラフ-2)。



グラフー 1 測点間約 1 km の観測時間別解析結果



グラフー 2 測点間約 2 ~ 3 km の観測時間別解析結果

4.2 GPSアンテナ高の測定

GPSアンテナ高は、GPS観測開始時及び終了時の2回の測定(表-5~表-7)から分かるように、GPSアンテナ下部(底部)を測定することにより、0.2mm程度の精度が得られた。

以上の結果から、今回の測定ではGPS観測時に殆ど三脚の浮沈はみられなかった。また、GPSアンテナ高の測定精度についても、十分な結果が得られた。

4.3 GPSアンテナ定数の検定

マルチパス等の電波障害の影響が少ないグランドプレーン付2周波型のGPSアンテナ定数は、6時間のGPS観測の検定結果から、GPSアンテナ間に最大で2.2mmの差異がみられる(表-10)。また、1回目と2回目のアンテナ定数補正量を比較すると、最大で1.3mm

の差異がみられる(表-8~表-10)。

1周波型受信機及びアンテナについては、マルチパス等の誤差の影響があると思われるが、3時間のGPS観測の検定結果からみると、GPSアンテナ間に最大で9.7mmの差異がある(表-8~表-9)。

また、1回目と2回目のアンテナ定数補正量を比較すると、最大で2.7mmの差異がみられる(表-8~表-9)。

今回の検定は、1回目が3時間のGPS観測、2回目が6時間のGPS観測の基線解析結果のため、精度を検証するまでには至らなかった。しかし、2周波型のアンテナは、再現性から判断すると1mm程度の精度のアンテナ定数の補正量を検出できる。1周波型のアンテナについては、アンテナ定数の補正量が大きいかことや再現性が悪いことから、今回の検定方法ではアンテナ定数の補正量は検出することはできない。

4.4 総合評価

1回目のGPSによる渡海水準測量は、直接水準測量との較差が3.9mmであった。これは、GPSアンテナ高の測定個所の不統一及びGPSアンテナ定数の未検定等の問題点があったためと思われる。

2回目のGPSによる渡海水準測量は、2周波型のアンテナ・受信機を使用した場合、直接水準測量との較差が1.1mmであった。これは、マルチパスを除去するグランドプレーン付GPSアンテナ・受信機の使用、GPSアンテナ高の測定の統一及びGPSアンテナ定数の補正を行ったためと思われる。しかし、今回使用した1周波型のGPSアンテナはグランドプレーンがないため、マルチパスによる誤差を消去する方法を考察しないかぎり、GPSによる渡海水準測量には使用することはできない。

今回の、GPSによる渡海水準測量から得られた成果をまとめると次の項目が上げられる。

- 1) グランドプレーン付GPSアンテナを使用する。
- 2) マルチパス対応型の受信機を使用する。
- 3) GPSアンテナ高は、GPSアンテナ下部(底部)を測定する。
- 4) GPSアンテナ定数を補正する。
- 5) 1km程度のGPS観測は6時間程度の観測時間を必要とする。
- 6) グランドプレーン付2周波型のGPSアンテナの定数は誤差が小さい。
- 7) グランドプレーンのない1周波型のGPSアンテナの定数は誤差が大きい。

5 今後の課題

今回は、ジオイドの起伏が小さい地域でフィールド観測を行ったため、良好な結果が得られた。

今後の課題として、ジオイドの起伏が大きい地域を選

出してフィールド観測を行い、精度の検証を行いたい。また、GPS観測は距離が長くなるほど、気象及び電離層の影響による誤差が大きくなると考えられる。そのため、GPSによる渡海水準測量がどれくらいの距離まで可能なのか検証する。

GPSアンテナの定数に関する誤差は、今回、3時間のGPS観測と6時間のGPS観測による比較しかできなかったため、十分な検証を行うことができなかった。今後、アンテナ定数の検定方法を確立するために、6時間以上のGPS観測を数回行い、アンテナ定数の精度について検証する。また、グランドプレーンのない1周波型のアンテナ定数については、マルチパスを除去する方法を考案する。

6 おわりに

渡海水準測量にGPSを応用できることが、今回の調

査研究では検証された。しかし、日本列島のジオイドは複雑な形状をしめしており、日本列島全体（渡海水準測量を必要とする地域）のジオイドを数mmの精度で推定することは不可能と思われる。また、ジオイドの起伏の大きい地域では、ジオイド傾斜を推定する誤差が大きくなるのは当然の事である。したがって、今後、GPSによる渡海水準測量の調査研究を進めていく上で、日本のジオイド（JGEOID96）を活用していくことが重要となる。また、本調査研究では、GPS高低差観測のより高精度化についても追求していかなければならない。

マルチパス等の誤差の影響の少ない2周波型アンテナについては、本調査研究でGPSアンテナ定数の検定方法の方向性が示された。また、GPSアンテナ定数を検証することは、地盤変動観測、地殻変動観測の活用及び異機種間観測等の利用があり、新分野への活用が期待できる。

参 考 文 献

- 石井晴雄（1998）：異機種GPS観測におけるアンテナ位相特性の補正について 第20回技術発表会論文集
 森田和幸（1996）：GPS水準試験観測作業報告 測地部技術検討会
 トリンブル（1996）：EVEREST™マルチパス抑制技術を使用したGPSリアルタイムGPS測量の性能改善 トリンブル社論文集