

北海道胆振東部地震波を用いた盛土前のウィングの応答解析

Response Analysis of the Wing before Embankment Using Earthquake Wave Struck Iburi Subprefecture in Southern Hokkaido

(株)砂子組 ○正員 廣上 伸二 (Shinji Hirogami)
(株)砂子組 正員 近藤 里史 (Satoshi Kondou)
(株)砂子組 正員 成田 憲昭 (Kensho Narita)
(株)砂子組 正員 田尻 太郎 (Tarou Tajiri)
(株)砂子組 非会員 山元 康弘 (Yasuhiro Yamamoto)

1. はじめに

2018年9月6日3時08分に発生した北海道胆振東部地震(M6.7, 深さ37km)により、北海道においても大規模な内陸型地震が発生しうることが明らかとなった。

内陸型(直下型)地震に予想される特徴としては、以下のものが考えられる。

- 1) 海溝型地震に比較して一般に震源が浅く、震央距離も小さいと考えられるため、同一マグニチュードの海溝型地震より大きな最大振幅を持つ。
- 2) 上記と同じ理由から、地震としては高周波の成分のパワーが相対的に大きい。
- 3) 直下型であるため、上下動成分を無視できない。

ここで1)と2)に注目すると、比較的高い周期に大きな振幅を持つ地震動が起きうることとなり、近年注目されている超長周期地震とは逆に、何らかの構造物部材の固有振動数に影響する可能性がある。

本論では例として、盛土前のボックスウィングの胆振東部地震時の挙動に注目し地震応答解析を行った。なお例としたボックス構造は建設予定であり、行った地震応答解析は試算である。

2. 胆振東部地震におけるサンプル波

例としたボックス構造は、道央圏南幌町南14線付近にあるので、現場に最も近い栗山町と由仁町における観測波と、震央から最も近い穂別町における観測点の地震波をサンプルとして比較した。図-1に観測サイトの位置、表-1にその震央距離等を示す。

表-1 サンプル波

Site	データ(NS方向)	震央距離(km)	最大振幅(gal)	卓越周波数(Hz)
穂別	K-Net	13	599	2.0
栗山	KiK-Net	44	533	5.1
由仁	K-Net	39	560	8.3
南14線		50		

サンプル波の原波形は、国立研究開発法人 防災科学研究所の強震観測網K-NetおよびKiK-Netのデータベースからダウンロードしたものである。

図-2~4に穂別、栗山、由仁での観測波の振幅スペクトルを示す。卓越周波数はこの順に2.0, 5.1, 8.3 Hz付近にある。一方震央からの距離は、13, 44, 39 kmとなる。最大振幅は599, 533, 560 galであり、震央距離による減衰はあまり受けていない。

特徴的なのは、あくまでこの3例についてであるが、一般には減衰しやすいと思われる高周波成分が、震央から遠いほど強調される傾向がみられる事である。特に由仁での観測波は、地震としては高い周波数である8 Hz付近にピークがある。しかしながら最大振幅はあまり変化していない事から、実際に高周波で駆動される地震動もある事がわかる。

3. ボックス構造の諸元および解析モデル

例とした(仮称)南14線ボックスの平面図、立面図、側面図を図-5に示す。BOX本体は6400×8400×25200、WINGは5333×6500×600であり、標準的な規模と思われる。なお図中の支持杭φ600は、解析ではピン支持として扱った。

解析モデルは、底版、側壁、頂版を梁要素とし、剛体要素で連結する事によりBOX構造をモデル化した。これにより箱形断面を一つの梁で置き換えたのとはほぼ同等となるが、作用力が地震動による慣性力であるため、質量分布を現実に近い目的で剛体要素を併用した。梁要素節点には図中ハッチ幅質量の1/4×2を、ハッチ端部節点には同質量の1/8×2を与えている。WING部のモデル化も同様で、弾性係数は $\sigma_{ck}=24 \text{ N/mm}^2$ 相当の25000 N/mm²である。梁要素では2方向曲げ、ねじり、伸び変形を考慮している。

4. 固有振動解析結果および入力地震動

図-6に、同モデルの基本固有モードを示す。固有値解析は10次まで行ったが(表-2)、基本モードとしてWINGがBOX長手方向に振動する11 Hzの4モードが得られた。基本固有モードがWING振動になるという事は、常時には十分であっても、地震時にはWING重量がWING剛性に対して過大であると考えられる事もある。

地震応答解析に用いる入力地震動は、ボックス構造の基本固有周期11 Hzに最も近い周波数でピークを持つ、由仁サイトでの観測波とした。

解析にあたっては、応答挙動を明確化するため、6 Hzローカットの波形を用いた。



図-1 観測サイト

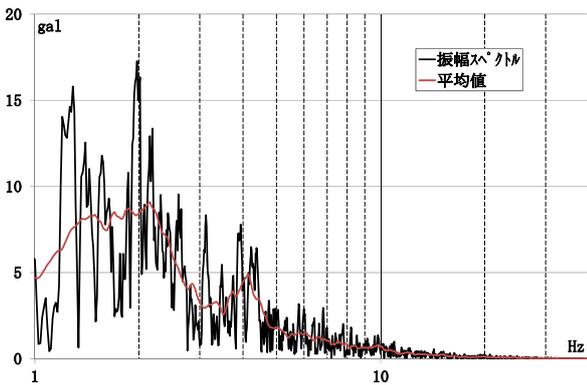


図-2 振幅スペクトル (穂別)

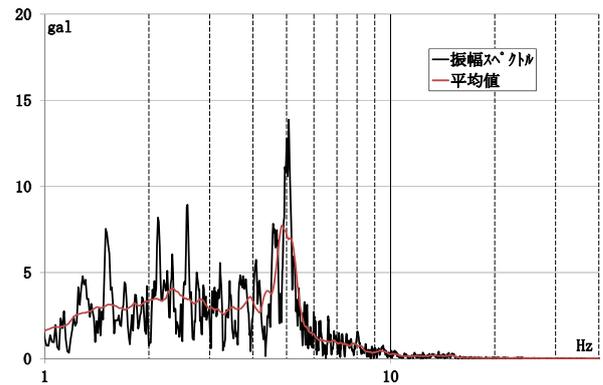


図-3 振幅スペクトル (栗山)

表-2 固有値解析結果

次数	固有振動数 (Hz)
1	10.7
2	10.7
3	10.7
4	10.9
5	50.4
6	50.5
7	50.5
8	52.8
9	70.1
10	70.1

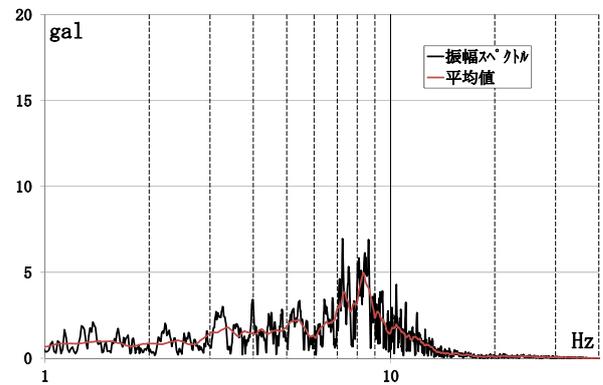


図-4 振幅スペクトル (由仁)

5. 地震応答解析結果

入力波は、WING 振動の方向に合わせて、ボックス長手方向に加振している。図-7 に、最大応答時の変位および曲げモーメント分布を示す。

最大応答時に地盤は長手方向に 18.5 mm 変位し、ボッ

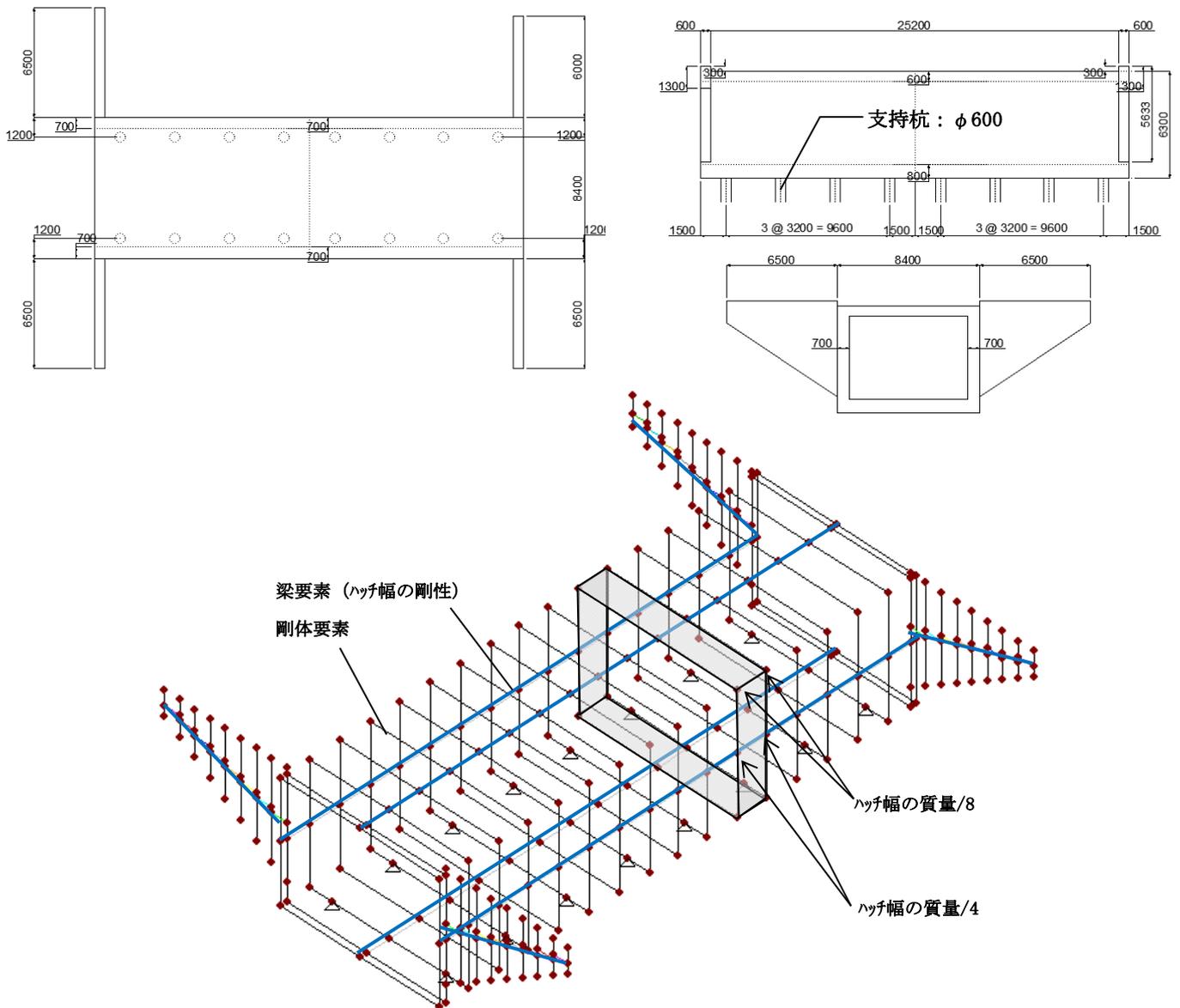


図-5 (仮称) 南 14 線ボックス諸元および解析モデル

クスの最大変位はやはり WING 部にて生じ、片持ち梁に似た変形で最大 9.6 mm および 12.6 mm となった。

最大変位にともなう曲げモーメントは、図-7, 8 に示した WING 付け根の A-A 断面と B-B 断面で、それぞれ 1777 kNm, 2458 kNm となり、小さなものではなかった。

また、WING が応答する事による BOX 本体への負担は、WING 接合部付近の頂版、側壁、底板で大きい事もわかる。

図-8 に示した WING 接合部の高さと WING 厚を考慮し、梁としての WING に作用する曲げ応力を算出すると、A-A 断面では $\sigma = 5.6 \text{ N/mm}^2$, B-B 断面では 7.7 N/mm^2 となり、RC コンクリートの許容曲げ圧縮応力度の 97% に達する。これは全断面有効とした概略値であるが、RC 断面計算を行った場合には、コンクリート断面の半分程度は消失する事を考えると、明らかにクリティカルな状態にあると言える。

時間積分法は、 $\beta = 1/4$ としたニューマークの β 法、減衰は 10 次モードまで 3% のモード減衰を考慮した。

6. まとめ

- (1) 大規模な内陸型地震動では、高周波成分のパワーが卓越するケースも考えられるので、構造系の一部の部材が共振を起こし破損する恐れは否定できないと思われる。
- (2) 今回のボックス構造を例とした試算結果では、WING が破損する可能性が示された。

ボックス構造の WING の本来の役割は土留めであり、今回は盛土前の状態で計算したが、盛土後には盛土の慣性力も WING に作用し、より不利な状態になる事も考えられる。

全体構造系に対する WING の位置づけ、その必要性の有無も含め、設計を再検討する事が望ましいと考えられる。

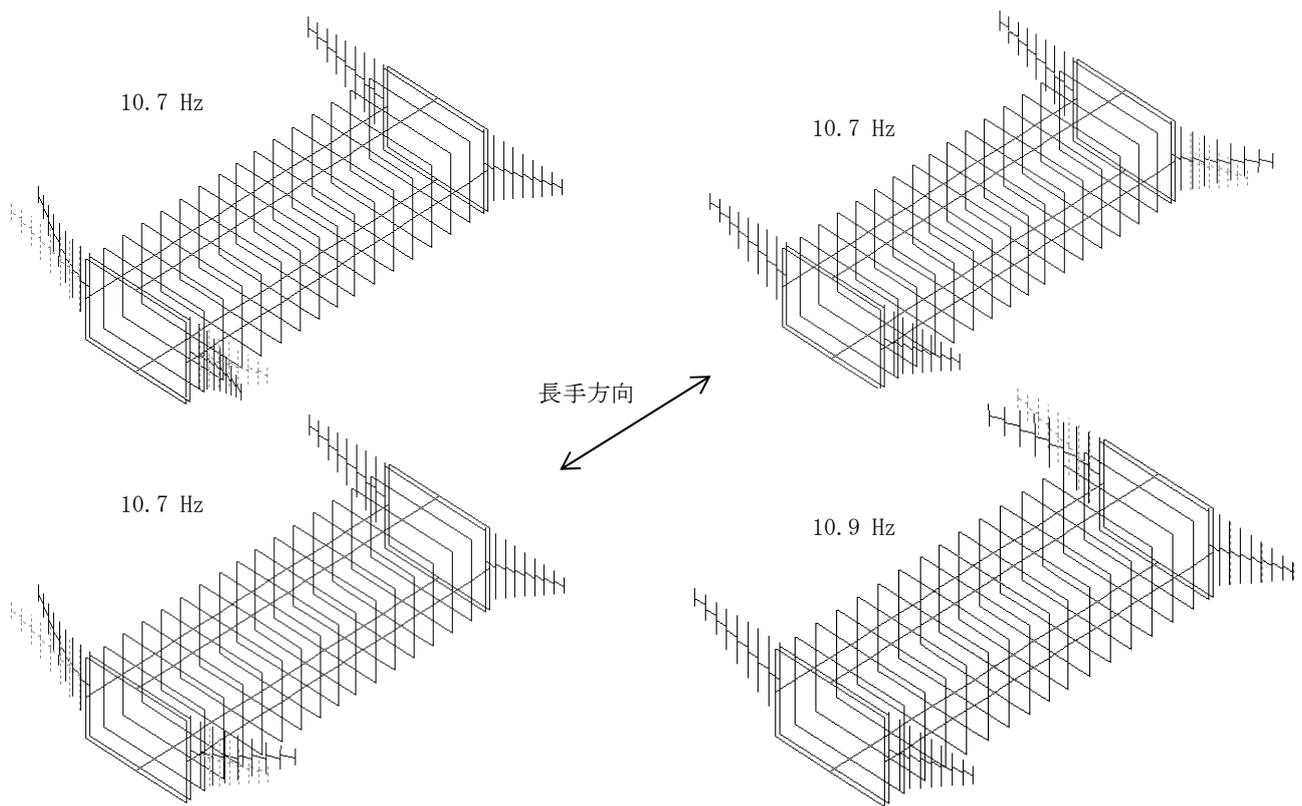


図-6 基本固有振動モード

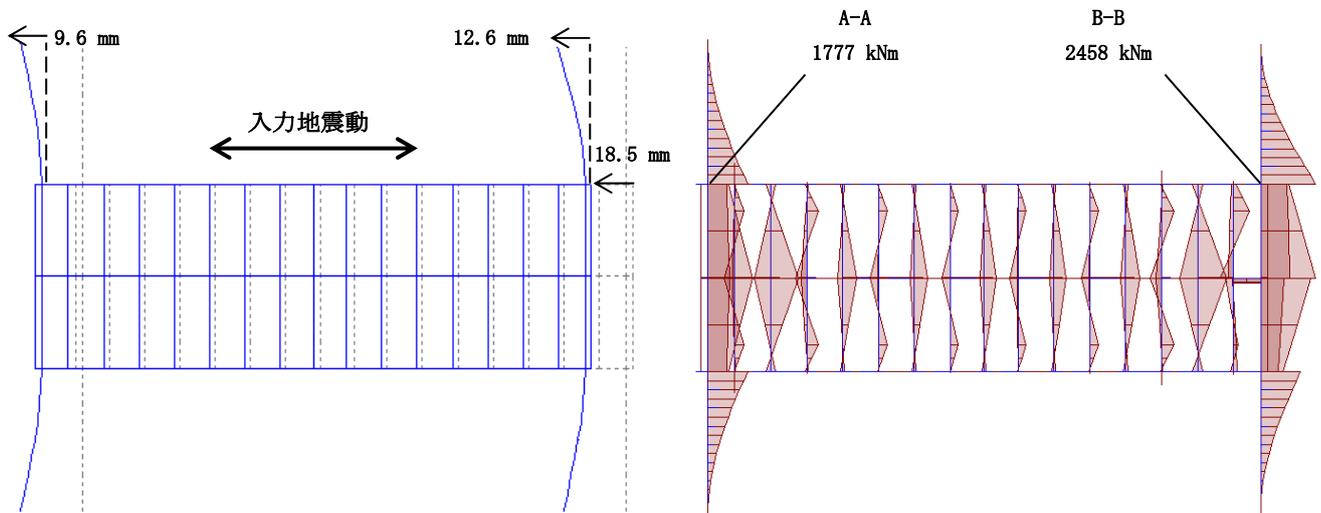


図-7 最大応答時の変位および曲げモーメント分布

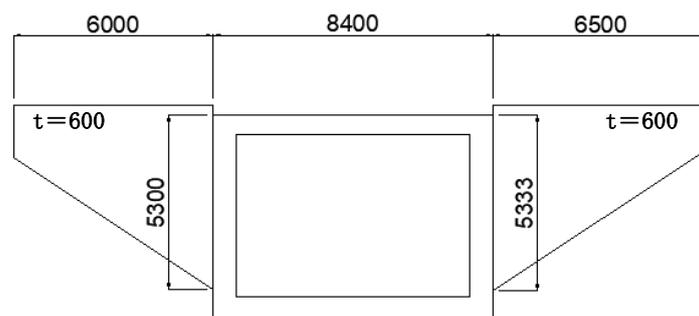


図-8 WING 部寸法詳細