

図 4-7-5 応答加速度の平面軌跡

図 4-7-6 は応答加速度の相対度数分布(I_d)を示す。 A_x と A_y 成分について3個所の I_d を比較すると、応答加速度はゼロを中心にほぼ対称に分布しており、 I_d のピーク値は個所によって異なっている。 A_x の分布は A_y に比べて全体的に I_d のピーク値が大きい。これは、 A_y に比べて A_x にはバラツキが小さいことを示している。リーダー上部の最大 I_d はリーダー下部とクローラ基部のそれに比べて小さく、3個所の中で最も変動が大きいことが分かる。この変動の大きさは図中に示した標準偏差(SD)の値の比較からも明らかである。

A_y については全体的に A_x に比べて最大 I_d の値が小さく加速度の変動は大きいことが分かる。個所で比較すると A_x と同じ傾向が見られる。すなわち、リーダー上部における A_y の変動が他の2個所に比べて大きい。リーダー上部に生じる加速度は慣性力を発生させ、機体に転倒モーメントを生じさせる。例えば、SDの3倍を平均値に加えて水平加速度の設計値を計算すると、その値は0.1Gとなる。

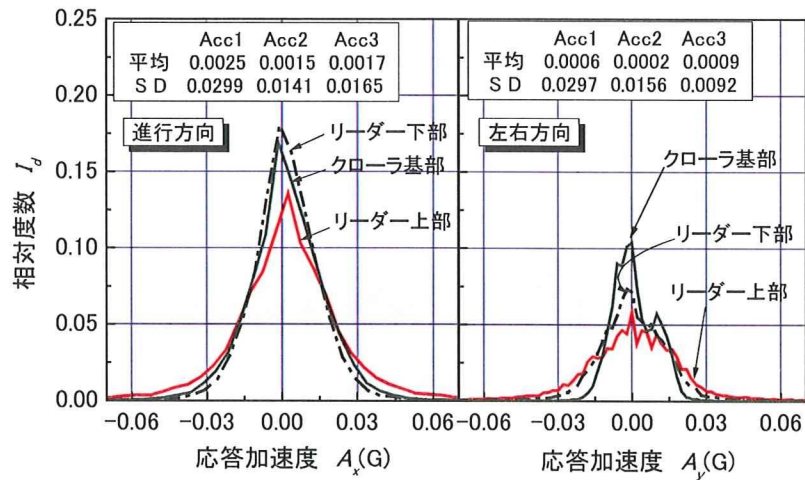


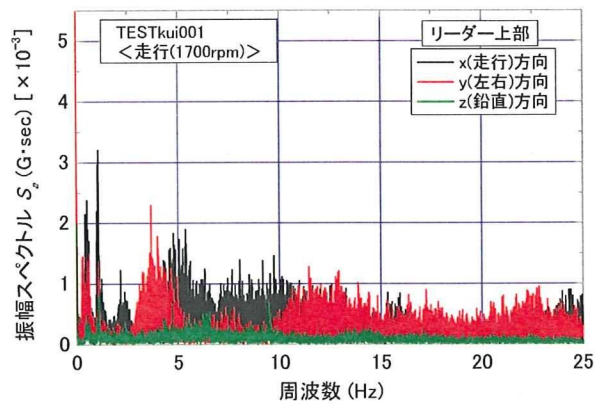
図 4-7-6 応答加速度の相対度数分布

図 4-7-7 は周波数と振幅スペクトル(S_a)の関係を示す。広い周波数に S_a が分布しており、計測にはノイズ的な成分が多く見られる。クローラ基部とリーダー下部では X 方向成分が他の成分に比べて大きな応答が現れており、また分布形状にも一致が見られる。

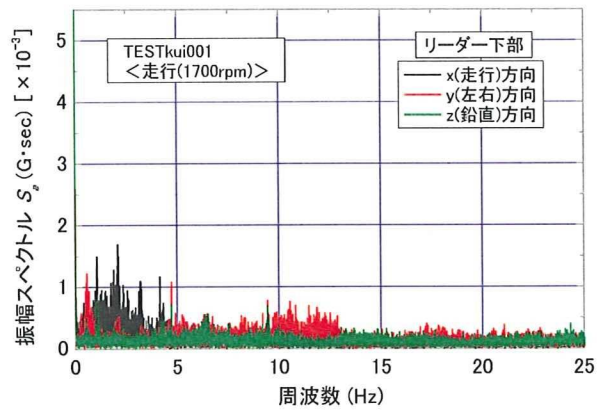
リーダー上部では x 方向と y 方向の応答に増幅が見られる。x 方向成分については 0.5 と 1.0Hz 付近に y 方向については 0.2 と 0.4Hz 付近にピークが見られる。

図 4-7-8 は周波数が 3Hz 未満の範囲を拡大して示す。図は計測箇所毎にリーダー上部、リーダー下部、クローラ基部の x 方向成分と y 方向成分を示している。リーダー上部の応答を見ると、 A_x と A_y にはそれぞれ 0.4Hz と 0.3Hz にピークが見られる。これは自走時におけるくい打機の動揺特性を示すものと考えられる。なお 1.1Hz に見られるもう一つ A_x のピークは、つり下げられた装備の振動や風による影響と見られる。

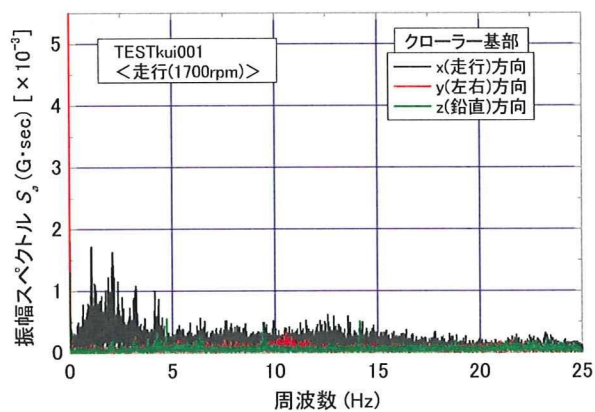
b)はリーダー下部における分布の比較を示す。上部に比べて明確なピークが見られず、 A_x と A_y の応答には類似が見られる。c)はクローラ基部における比較を示す。 A_y の S_a が A_x のそれに比べて小さい。



a) リーダー上部における振幅スペクトル

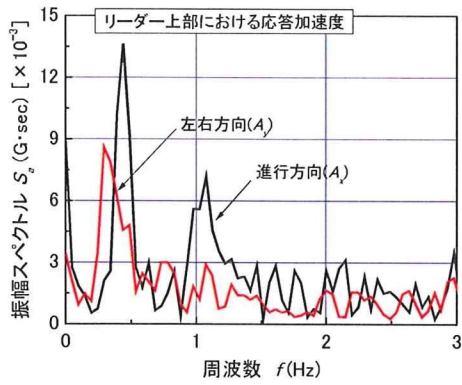


b) リーダー下部における振幅スペクトル

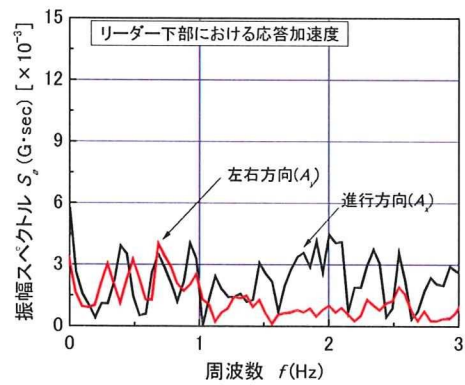


c) クローラ基部における振幅スペクトル

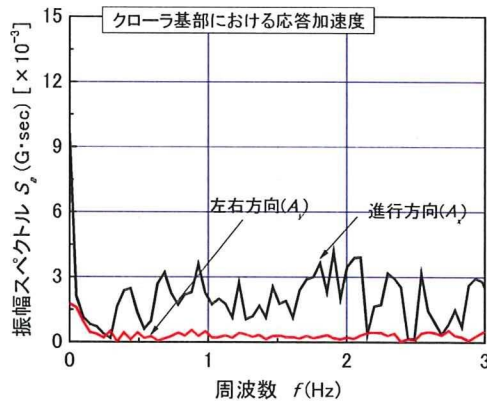
図 4-7-7 低速前進時における振幅スペクトル (TESTkui001)



a) リーダー上部の分布比較

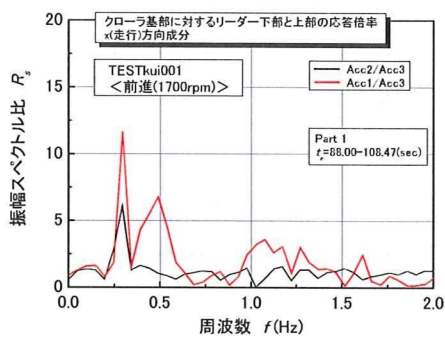


b) リーダー下部の分布比較

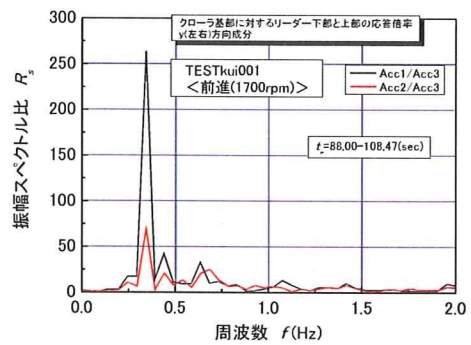


c) クローラ基部の分布比較

図 4-7-8 自走時における動揺の周波数分布 (TESTkui001)



a) x 方向成分



b) y 方向成分

図 4-7-9 クローラ基部に対するリーダー下部と上部における加速度振幅の応答比較

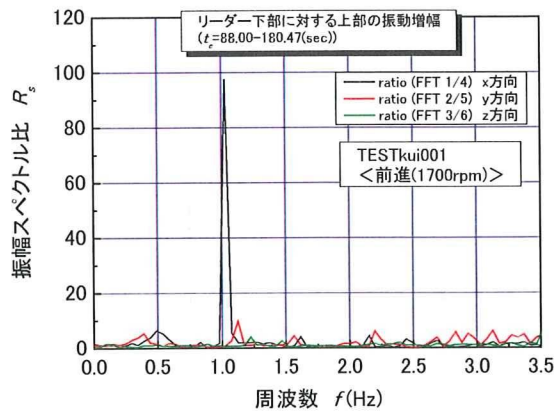


図 4-7-10 リーダー下部に対する上部の応答倍率比
(x, y, z 方向の 3 成分)

図 4-7-9 はクローラ基部の加速度に対するリーダー下部と上部のその比、すなわち応答倍率を示す。この応答倍率を振幅スペクトル比(R_s)と呼ぶ。x 成分(A_x)には 0.3Hz 付近にピークが見られる。y 成分(A_y)についてもほぼ同様の周波数においてピークが現れているが、 R_s の値は x 成分に比べて 10 倍以上大きい。この原因は、クローラ基部における A_y が A_x に比べて非常に小さいためである。図 4-7-10 はリーダー下部に対するその上部での応答倍率を示す。1Hz において x 方向成分に著しい増幅が見られる。

機体前輪を中心とした回転運動を考えると、リーダー下部の回転半径(r_1)と上部のそれ(r_2)は次式により求められる。

$$\begin{aligned} r_1 &= \sqrt{x_0^2 + y_0^2} \\ &= \sqrt{0.9^2 + 1.8^2} \\ &= 2.01 \end{aligned} \tag{4-7-1}$$

$$\begin{aligned} r_2 &= \sqrt{x_1^2 + y_1^2} \\ &= \sqrt{0.9^2 + 19^2} \\ &= 19.02 \end{aligned} \tag{4-7-2}$$

ここで、 x_0 と y_0 は前輪スプロケットの接地面とリーダー下部の加速度計までの水平距離と鉛直距離、 x_1 と y_1 は前輪スプロケットの接地面とリーダー上部加速度計までの水平距離と鉛直距離である。

写真 4-7-1 に示すようにリーダー上部と下部の円周接線方向に対する加速度を A_{c1r} と A_{c2r} とする。それぞれの値は角加速度 β と各回転半径の積であり、式(4-7-3)と(4-7-4)で求められる。

$$A_{c1r} = r_1 \times \beta \tag{4-7-3}$$

$$A_{c2r} = r_2 \times \beta \quad (4-7-4)$$

接地面から同心円状の位置にある Acc1 と Acc2 での x 成分 A_{c2x} と A_{c1x} は、接地面と各位置を結ぶ線が鉛直となす角を考慮して表される。従って、 A_{c2x} に対する A_{c1x} の理論的な増幅率(n_T)は式(4-7-5)で求められ、その値は $n_T=10.6$ である。図 4-7-9 の a) ではリーダー上部の応答が 0.3Hz の時に約 11.5 を示しており、この理論値にほぼ一致している。

$$\begin{aligned} n_T &= \frac{A_{c1x}}{A_{c2x}} \\ &= \frac{A_{c1r} \times \cos \theta_1}{A_{c2r} \times \cos \theta_2} \\ &= \frac{h_1}{h_2} \\ &= 10.6 \end{aligned} \quad (4-7-5)$$

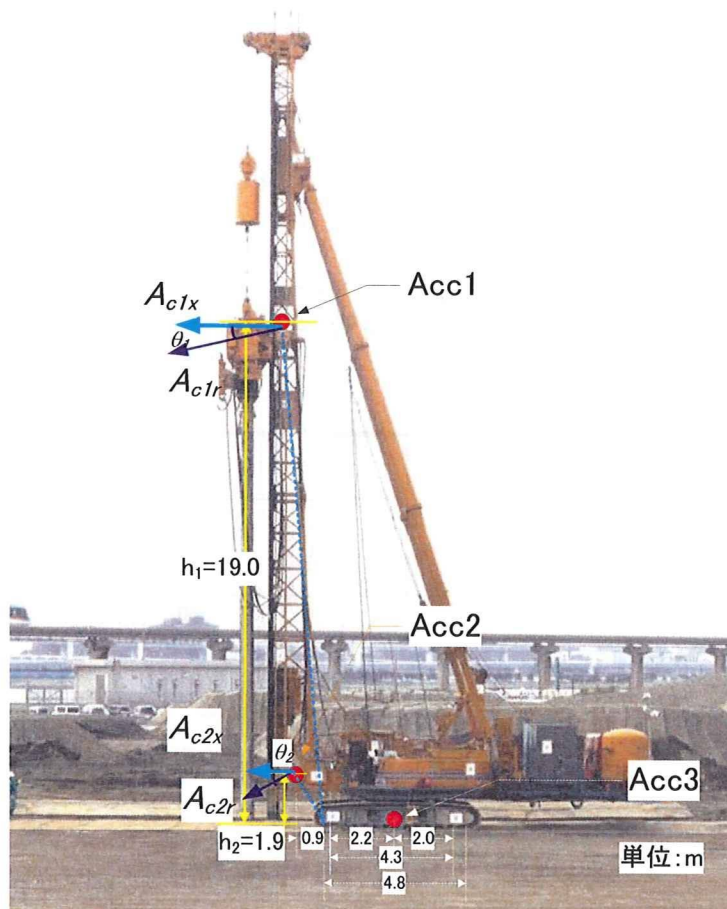
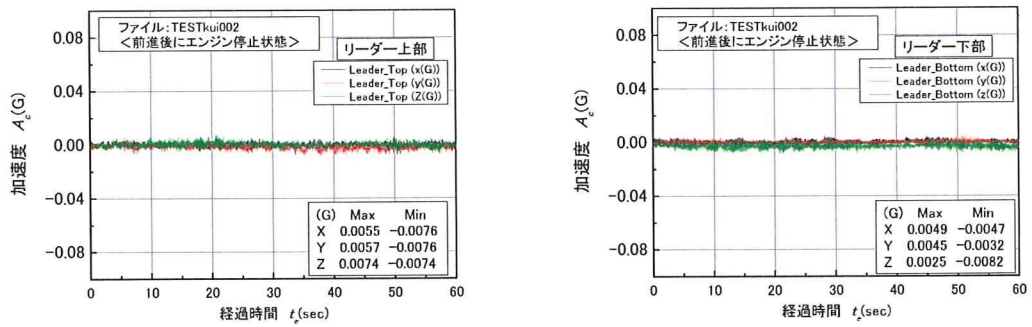


写真 4-7-1 前輪を中心とした回転による応答加速度

4.7.4 TESTkui002 の結果

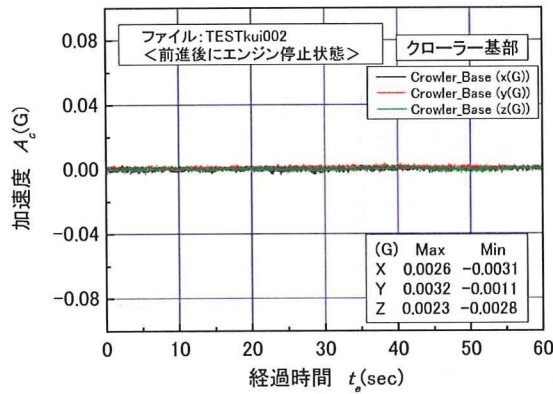
図 4-7-11 は前進終了後のゴール地点において機械が静止し、エンジンが停止した状態で計測した加速度応答である。x, y, z の各成分にほぼ同レベルのノイズが見られ、先の図 4-7-1 と同じ結果である。

図 4-7-12 は振幅スペクトル(S_a)を示す。3 箇所共通して 10Hz 付近における顕著な Z 軸加速度応答が現れており、離れた地点で稼働していたサンドコンパクションパイルの施工による影響が現れている。



a) リーダー上部における応答

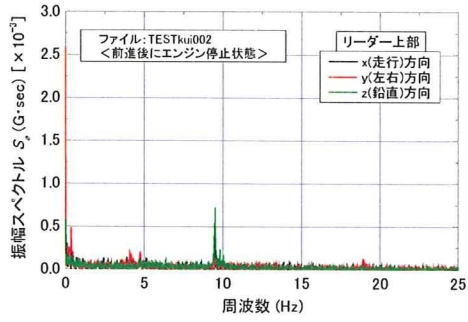
b) リーダー下部における応答



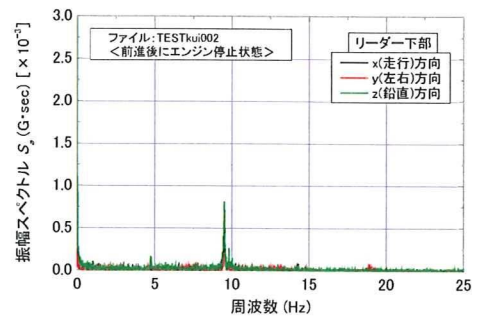
c) クローラ基部における応答

図 4-7-11 ゴール地点での静止時における加速度応答 (TESTkui002)

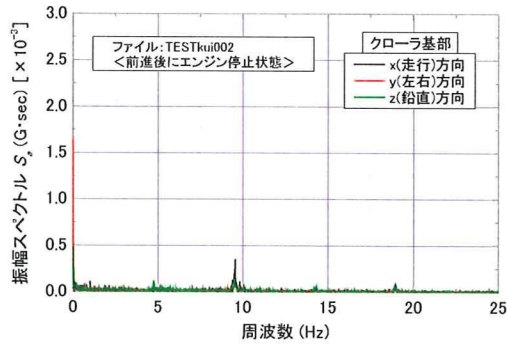
第4章 実大現場実験



a) リーダー上部における振幅スペクトル



b) リーダー下部における振幅スペクトル



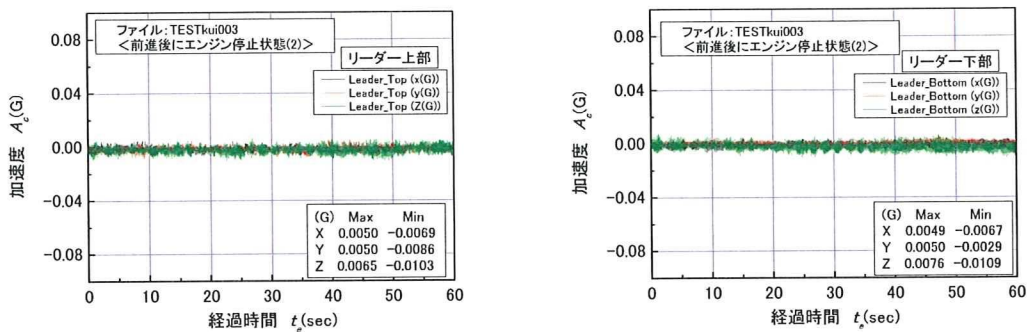
c) クローラ基部における振幅スペクトル

図 4-7-12 ゴール地点での静止時における振幅スペクトル (TESTkui002)

4.7.5 TESTkui003 の結果

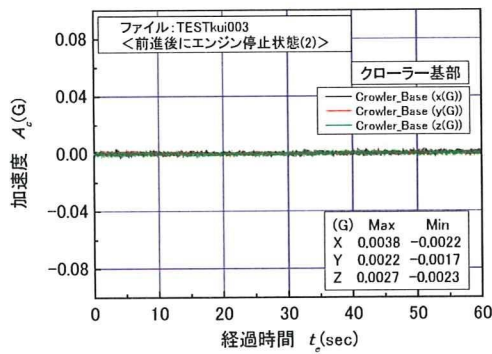
この計測は先の TESTkui002 と同一条件で計測した結果であり、静止状態における計測に対する再現性が確認された。すなわち図 4-7-13 に示す時系列グラフには、微小レベルのノイズ的な応答があらわれている。

図 4-7-14 に見られる 10Hz 付近のピークはサンドコンパクションパイルの施工に伴う振動と見られる。その他の振動については振幅スペクトルの値が走行時の 1/100 程度であり、十分に小さい。



a) リーダー上部における応答

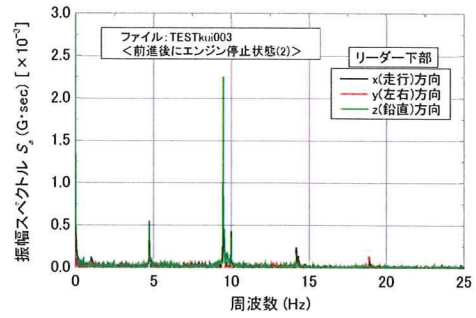
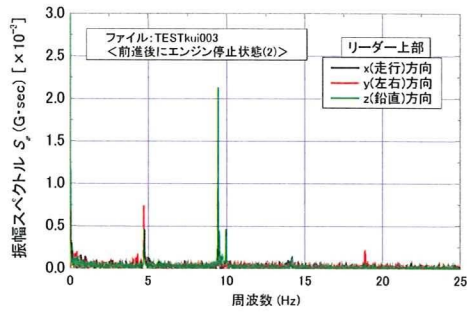
b) リーダー下部における応答



c) クローラ基部における応答

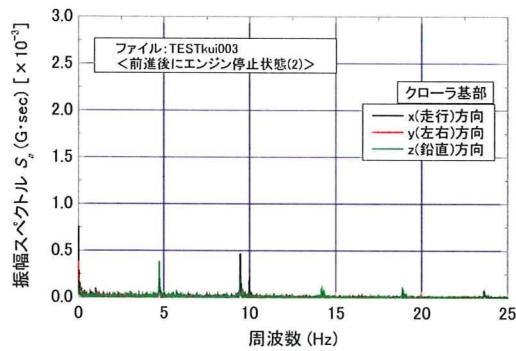
図 4-7-13 ゴール地点での静止時における加速度応答のその 2 (TESTkui003)

第4章 実大現場実験



a) リーダー上部における振幅スペクトル

b) リーダー下部における振幅スペクトル



c) クローラ基部における振幅スペクトル

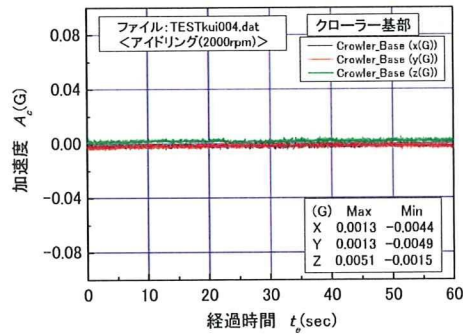
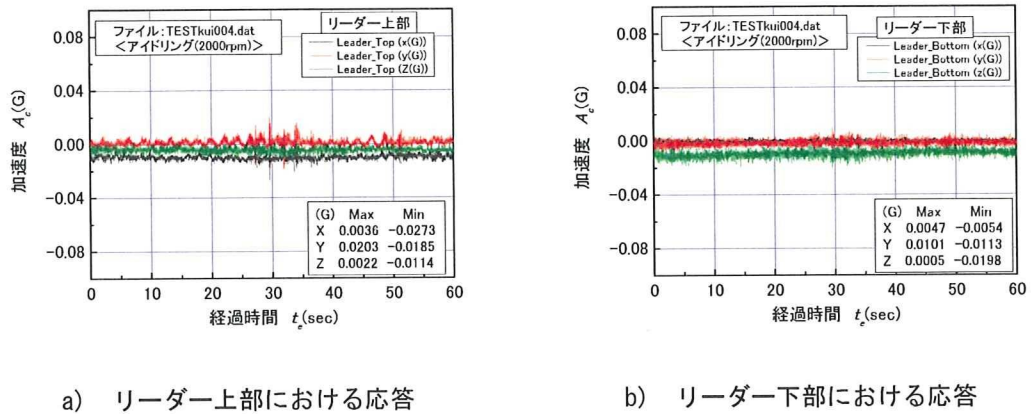
図 4-7-14 3つの機体測定点における振幅スペクトル (TESTkui003)

4.7.6 TESTkui004 の結果

この計測はアイドリング時の振動を計測するために実施したものである。エンジンの回転数は2000rpmであり、先の走行時に比べて300rpm大きい。

図4-7-15は加速度 A_c の時系列データを示す。x, y, z成分の A_c 値は振幅が約0.01Gと微小であり、各成分には大きな差が見られない。また加速度の振幅レベルは先の静止時の結果(TESTkui000, TESTkui 002, TESTkui003)とほぼ同じである。

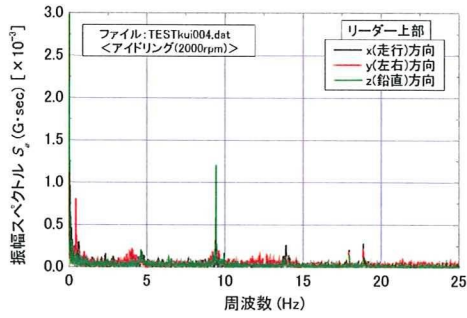
図4-7-16は振幅スペクトルの分布を示す。3箇所における応答には5Hz毎にピークが見られる。最大のピークは各地点に共通して10Hzである。z成分が他に比べて大きな応答を示しているが、クローラー基部ではy成分の方が大きい。



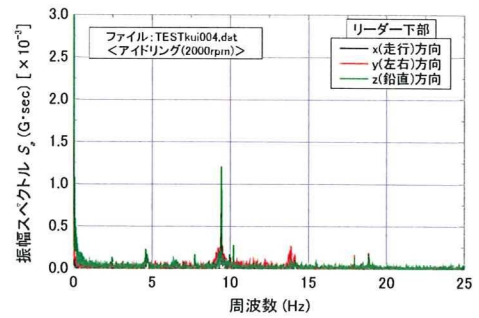
c) クローラー基部における応答

図4-7-15 ゴール地点で2000rpmアイドリングによる加速度応答(TESTkui004)

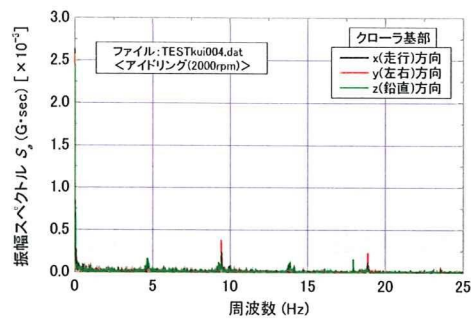
第4章 実大現場実験



a) リーダー上部における振幅スペクトル



b) リーダー下部における振幅スペクトル



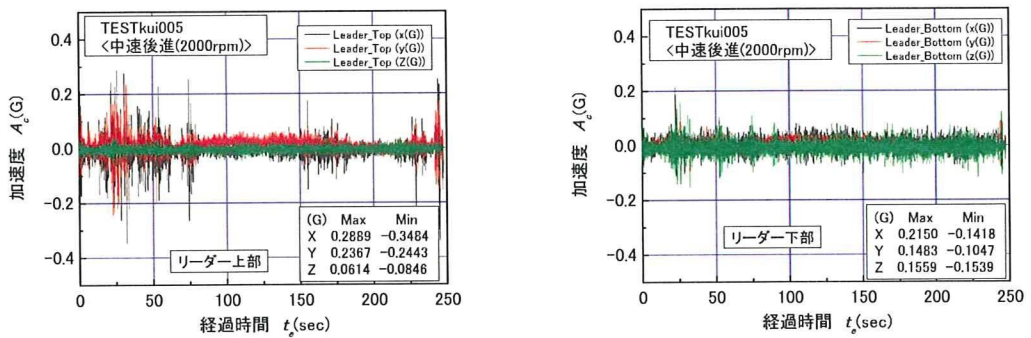
c) クローラ基部における振幅スペクトル

図 4-7-16 ゴール地点で 2000rpm アイドリングによる振幅スペクトル (TESTkui004)

4.7.7 TESTkui005 の結果

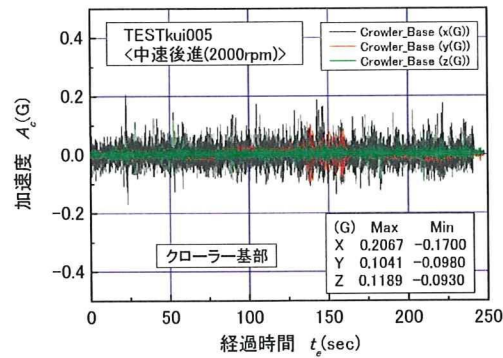
この計測は機体が後進した時に行ったものである。エンジン回転数は 2000rpm であり、前進時に比べて速度は高かった。先にも述べたとおり、進路の修正では履帯に制動が与えられ、そのたびに機体には明らかな振動が生じた。これに伴ってリーダーにも動揺が見られた。この走行では速度の増加により先の走行(TESTkui000)よりも大きな動揺が体感された。

図 4-7-17 は加速度の時系列記録である。 $t_e=20\sim 80$ 秒ではリーダー上部の加速度(A_c)に大きな応答が見られる。この応答に関連した反応はレベルが小さいもののリーダー下部にもほぼ同じ t_e に反応が現れている。しかし、クローラ基部には見られない。従って、リーダー上部に現れた顕著な A_c の増加は基部から入力した加速度に対するものではない。これは、リーダーにつり下げられた装備の動揺と当日午後に強まった風による影響と見られる。



a) リーダー上部における応答

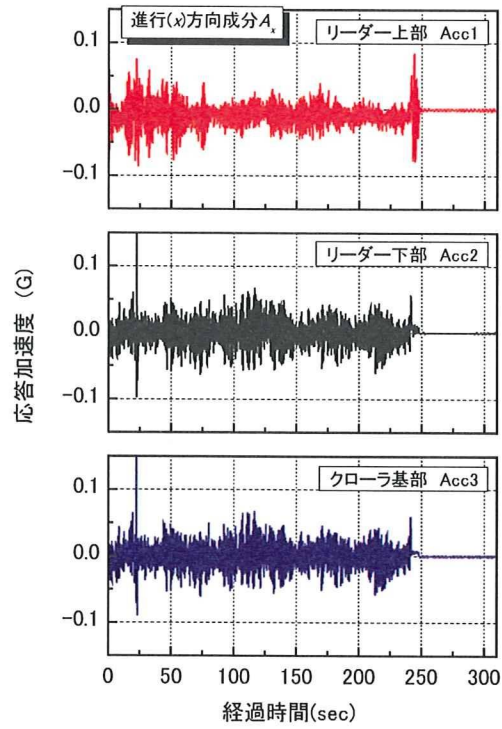
b) リーダー下部における応答



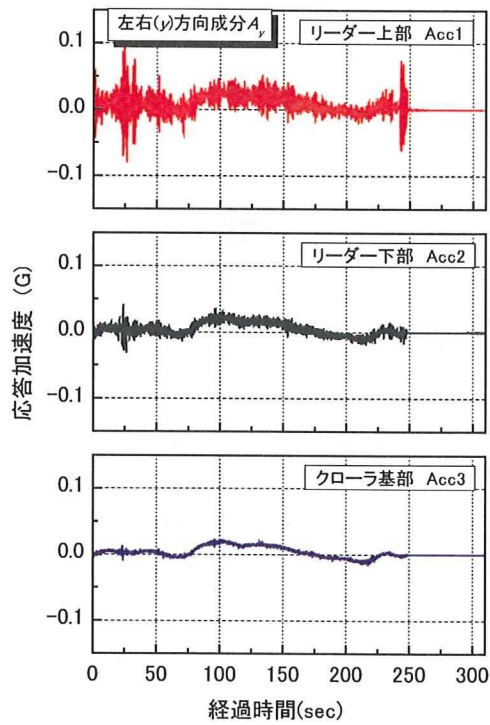
c) クローラ基部における応答

図 4-7-17 2000rpm により後進した時の加速度応答 (TESTkui005)

第4章 実大現場実験



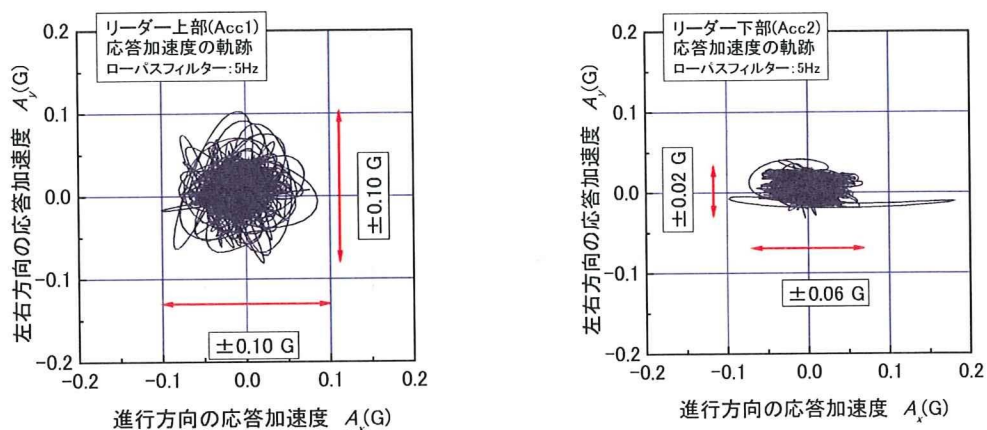
a) 進行方向(x)方向成分



b) 左右(y)方向成分

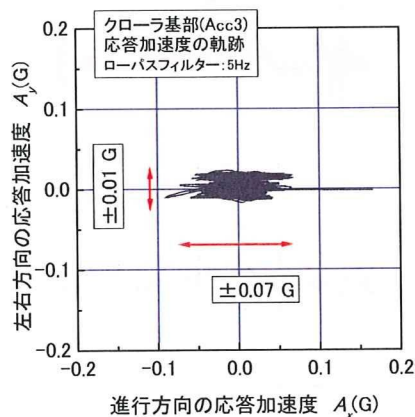
図 4-7-18 応答加速度の上下方向比較(ローパス 5Hz) (TESTkui005)

図 4-7-18 は応答加速度の時系列で比較して示す. 同図は x 成分と y 成分であり応答加速度の値には 5Hz ローパスフィルタが施されている. x 成分の応答を比較すると明らかな増幅傾向は見られないものの, リーダー上部の応答が他に比べて幾分か大きい. Y 成分については明らかな増幅傾向が見られる. クローラ基部では振幅が最も小さいが, リーダー上部では明らかに応答が大きい. これは実験 TESTkui001 で見られた傾向に一致している.



a) リーダー上部

b) リーダー下部



c) クローラ基部

図 4-7-19 応答加速度の平面軌跡

図 4-7-19 は応答加速度の x 成分と y 成分を平面上に表した軌跡を示す. リーダー上部では軌跡がほぼ円状に分布している. A_x と A_y の最大振幅は約 0.10G である. リーダー下部の軌跡は楕円状を呈しており, リーダー上部のそれとは異なっている. また単発的ではあるが A_x 方向に一度大きな応答を示しており, $A_x=0.18G$ 程度が記録されている. しかしながらこの応答を除くと A_x の最大振幅は 0.06G 程度であり, Acc1 に比べて減少している. A_y の最

大振幅はさらに大きな減少が見られ、0.02Gである。

クローラ基部の軌跡はリーダー下部のそれに形状がほぼ類似している。 A_x と A_y の最大振幅には幾分減少が見られ、最大 A_x と最大 A_y はそれぞれ約0.07Gと約0.01Gである。

以上より、機体は左右方向(y成分)に動揺するとともに、進行方向には動揺に加えて履帯の制動に伴う加速と減速が生じ複合的な応答加速度が3箇所記録された。

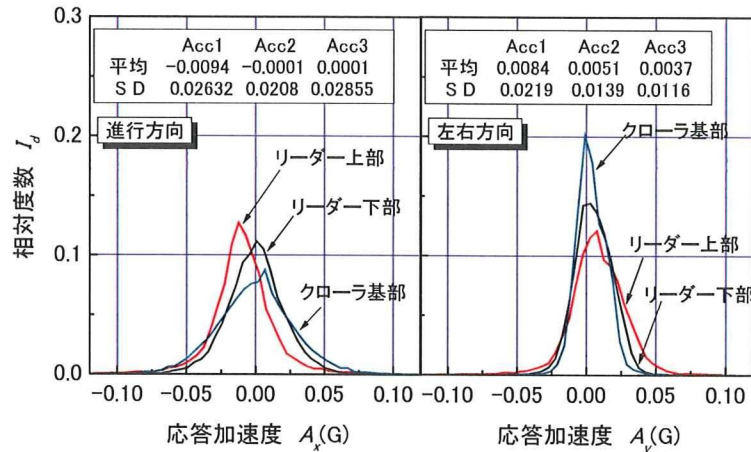
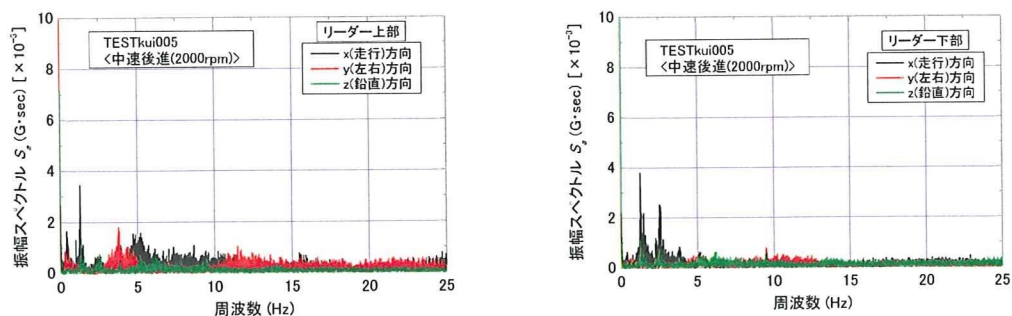


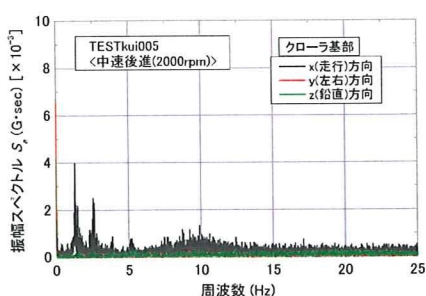
図 4-7-20 応答加速度の相対度数の分布

図 4-7-20 は応答加速度の相対度数分布(I_d)を示す。 A_x と A_y 成分について3箇所の I_d を比較すると、応答加速度はゼロを中心にほぼ対称に分布している。 I_d のピーク値は箇所によって異なっている。 A_y の分布は A_x に比べて全体的に I_d のピーク値が大きい。この結果は先の前進時とは逆の傾向である。 A_x については3箇所のSDの値がほぼ等しく0.20から0.28程度である。

A_y についてはリーダー上部の I_d が小さく、クローラ基部のそれが大きい。リーダー上部ではSDが全体的に A_x に比べて最大 I_d の値が小さく加速度の変動は大きいことが分かる。個所で比較すると A_x と同じ傾向が見られる。すなわち、リーダー上部における A_y の変動が他の2箇所に比べて大きい。リーダー上部に生じる加速度は慣性力を発生させ、機体に転倒モーメントを生じさせる。SDの3倍を平均値に加えると水平加速度の設計値は0.1Gと見ることができる。



a) リーダー上部における振幅スペクトル b) リーダー下部における振幅スペクトル



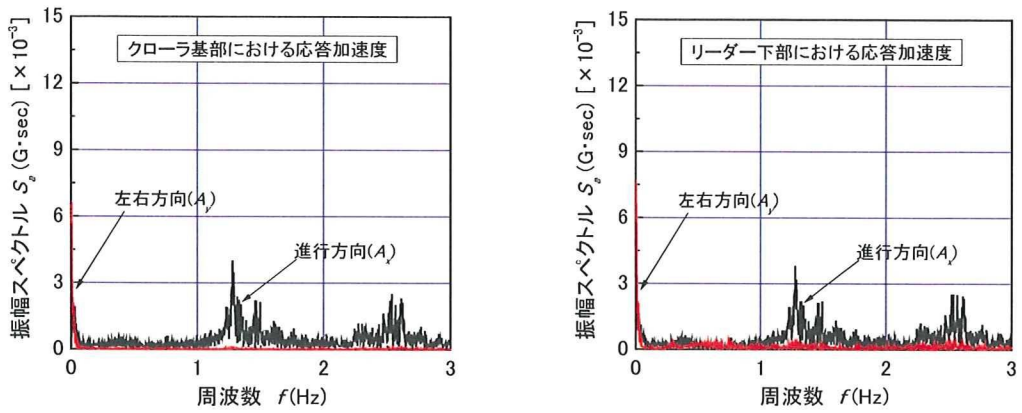
c) クローラ基部における振幅スペクトル

図 4-7-21 2000rpm により後進した時の振幅スペクトル (TESTkui005. dat)

図 4-7-21 は周波数解析による振幅スペクトルの分布を示す。周波数が 25Hz 以下の範囲における振幅スペクトル(S_a)は低周波数域に幾つかのピークが現れている。リーダー上部、リーダー下部及びクローラ基部における応答では y 成分と z 成分に比べて x 成分に大きなピークが現れている。

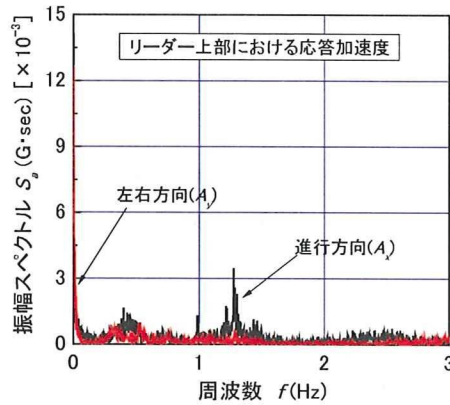
図 4-7-22 は先の図について 3Hz 以下低周波部分を拡大して示したものである。3箇所での x 成分と y 成分には 0.1Hz 以下の S_a に増加が見られる。これは機体全体が少し傾斜していたことを示しているものと考えられる。

x 方向については 0.4Hz と 1.2Hz で S_a に増加が見られ、1.2Hz の時の値が大きい。リーダー下部とクローラ基部においても同様であり、1.2Hz で x 成分の最大 S_a が見られる。これは自走中のくい打機に生じる特徴的な応答成分と見られる。他に 2.4Hz、すなわち 2 倍の周波数においても S_a にピークが現れ、反応には周期性が見られる。後進では y 成分の S_a は x 成分のそれに比べて全般的に小さい。これは、つり下げられた装備の動揺と風による影響が現れているものと考えられる。



a) リーダー上部の分布比較

b) リーダー下部の分布比較



c) クローラ基部の分布比較

図 4-7-22 自走時における動揺の周波数分布 (TESTkui005)

図 4-7-23 はクローラ基部に対するリーダー下部と上部における加速度振幅の応答比較を示す。なお振幅スペクトル比(R_s)の一部には極端に大きな値が現れている。これは、比の計算上で生じた発散とみられ、分母にゼロに近い数値が代入された結果生じた問題と見られる。従って、これは計算上のエラーと見なされるので、ここでは無視する。

はじめに x 成分の増幅を a) のグラフにより考察する。リーダー上部の加速度比($Acc1/Acc3$) は 0.3Hz と 0.5Hz 付近に R_s のピークを示す。この周波数は先の図 4-7-22 の考察で述べたリーダー上部における S_a のピーク時周波数 1.2Hz に比べて小さい。クローラ基部に比べると低周波数の成分が増幅する傾向を示している。リーダー下部の加速度比($Acc2/Acc3$) の R_s は緩やかな起伏を示し、0.3Hz から 0.5Hz 付近に増加が見られる。しかしながら R_s の値自体は $Acc1$ に比べて小さく、増幅はリーダー上部方向に増加することが分かる。

次に y 方向成分の増幅を b) のグラフにより考察する。 $Acc1/Acc3$ では 0.5Hz 付近に緩やかな増幅が見られるものの先の x 方向におけるそれに比べて顕著でない。 $Acc2/Acc3$ について

はほとんど増幅が見られない。なお、0.7Hzに見られる Acc1/Acc3 と Acc2/Acc3 の突発的な R_s の増加はつり荷の干渉や風による動揺の影響と見られる。

図 4-7-24 はリーダー下部に対する上部の応答倍率を x, y, z 成分について示す。したものである。周波数が 2Hz 以下においては、約 0.5Hz の時に x 方向の R_s がピークを示し、約 0.1Hz と 1.1Hz の時に y 方向のピークが見られる。

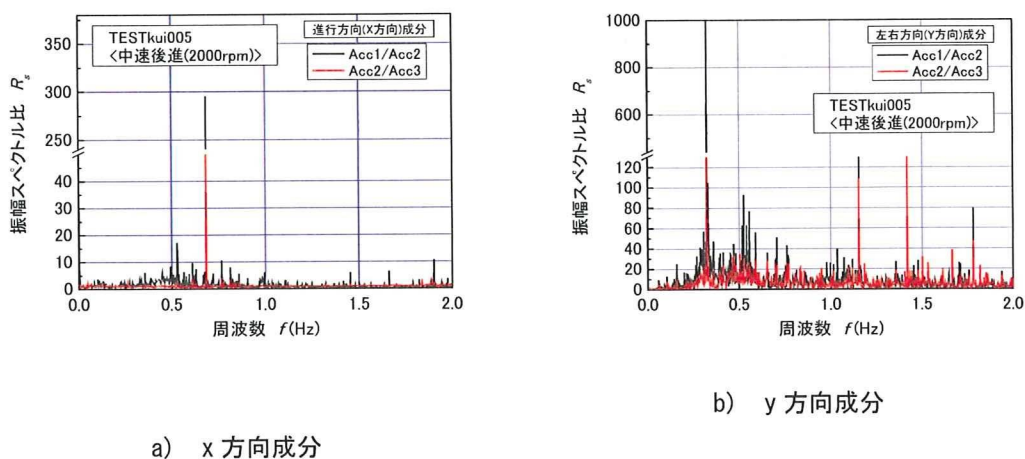


図 4-7-23 クローラ基部に対するリーダー下部と上部における加速度振幅の応答比較 (TESTkui005)

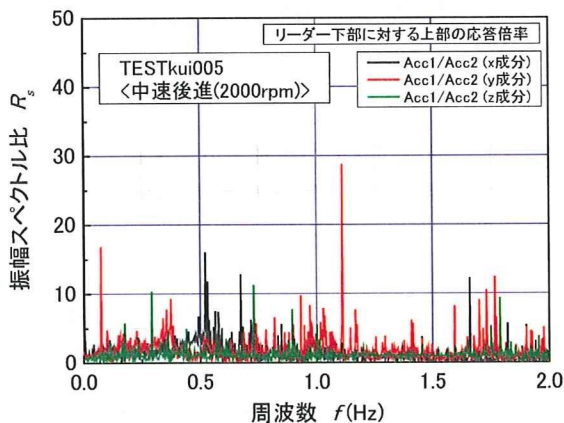


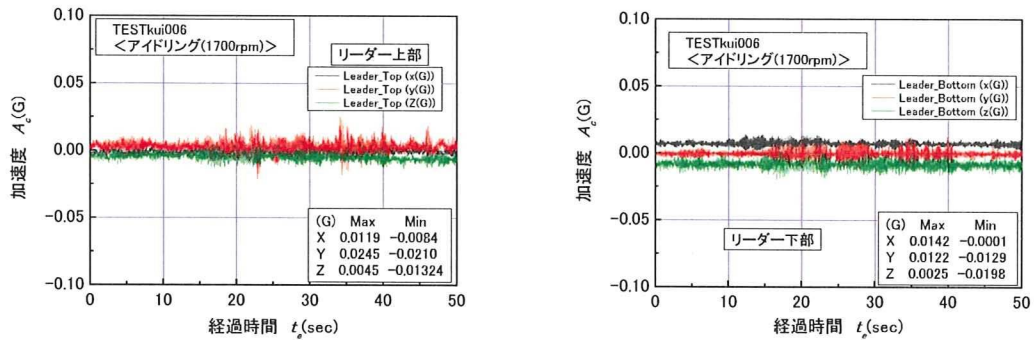
図 4-7-24 リーダー下部に対する上部の応答倍率 x, y, z 方向の 3 成分 (TESTkui005)

4.7.8 TESTkui006の結果

図4-7-25はエンジン回転数が1700rpmのアイドリング状態における加速度の応答を示す。計測位置はスタート地点であり、他の施工機械(サンドコンパクションパイル)が約50mの距離で作業をしていた。この距離はゴール地点における計測(TESTkui004)時に比べて短い。またこの時は風が強まり、これによる動揺も見られる状況であった。

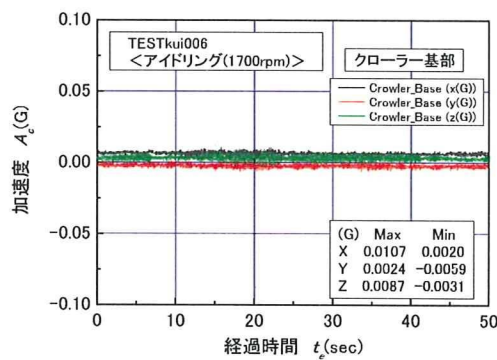
時系列的な A_c の経過を見ると、各点のz成分には少し値が大きな振動が記録されている。これはサンドコンパクションの打設による影響と考えられる。

図4-7-26は周波数と振幅スペクトルの関係を示す。各箇所の応答には10Hz付近のピークが見られる。リーダー上部と下部では S_a のピークがx, y, zの全ての成分に見られ、値自体はy成分が最も大きい。一方、クローラ基部ではz成分が最も大きい。



a) リーダー上部における応答

b) リーダー下部における応答



c) クローラ基部における応答

図4-7-25 スタート地点におけるアイドリング(1700rpm)時の加速度応答(TESTkui006)