KC#425

ホッパープレート上のスチールコイル積載

6 章 1 節 2.7.3 『ビルジホッパ斜板及び内殻の板厚』
縦式構造のビルジホッパ斜板及び内殻板のネット板厚（mm）は，次式による値以上としなければならない。

$$t = K_1\sqrt{\frac{\left[g\cos(\theta_1-\theta_2)+a_Y\sin\theta_1\right]F'}{\lambda_P R_Y}}$$

ここで、

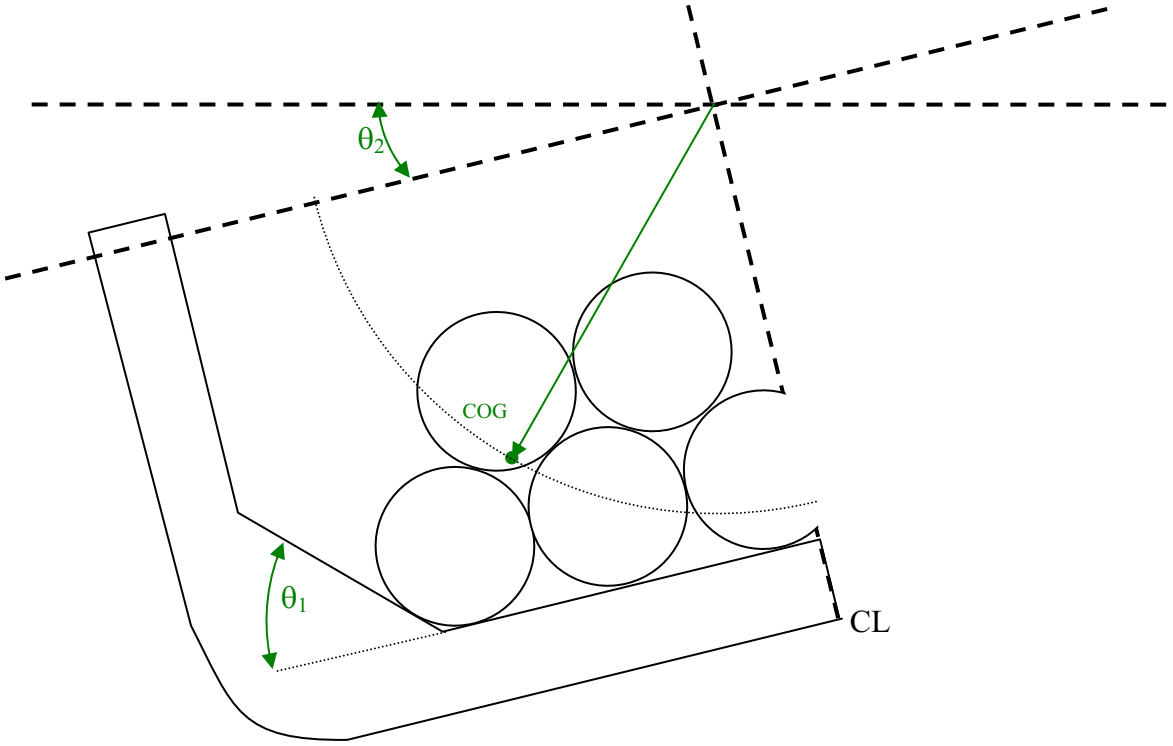
a_Y ： 横方向加速度（m/s^2）で，4 章 2 節 3.2 の規定による。

4 章 2 節 3.2 によると

$$a_Y = C_{YG}g\sin\theta + C_{YS}a_{sway} + C_{YR}a_{roll\,y}$$

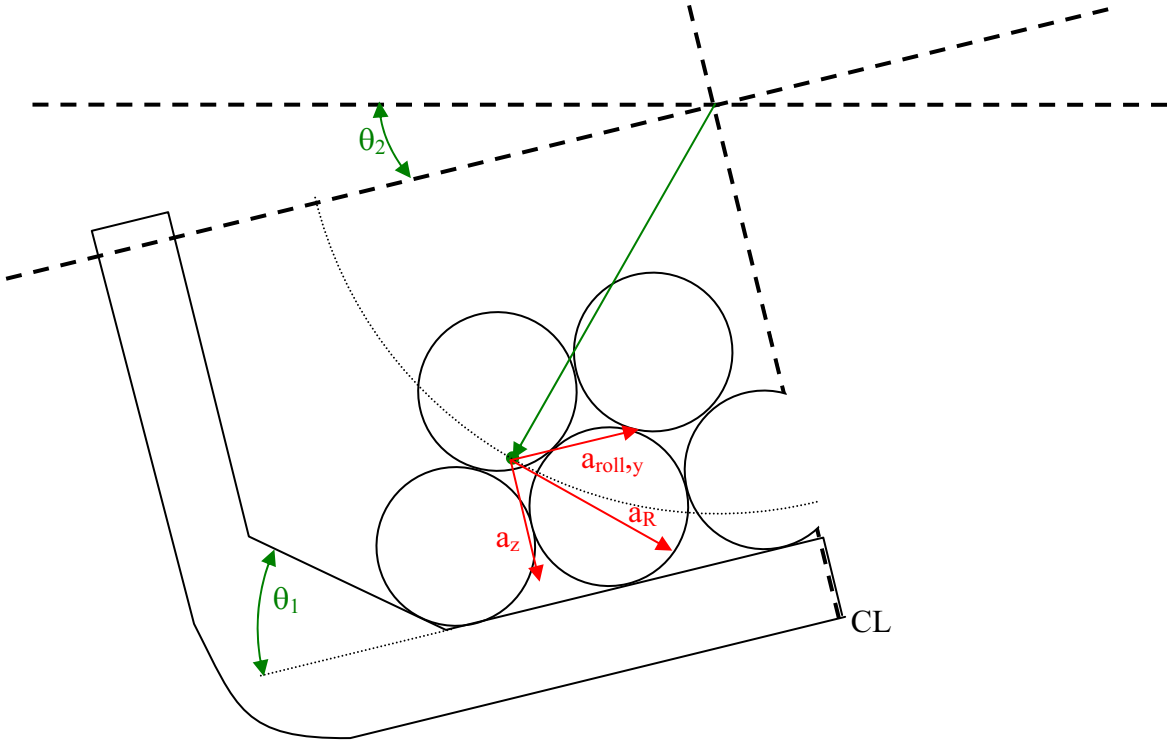
典型的なスチールコイル積付状態を下図に示す。θ_2 はロールの角度を意味しており、COG はホッパータンク方向のコイルの重力の中心を示している。以下の 2.7.3 の加速度計算式を確認されたい。

$$a_\perp = g\cos(\theta_1-\theta_2)+a_Y\sin\theta_1$$

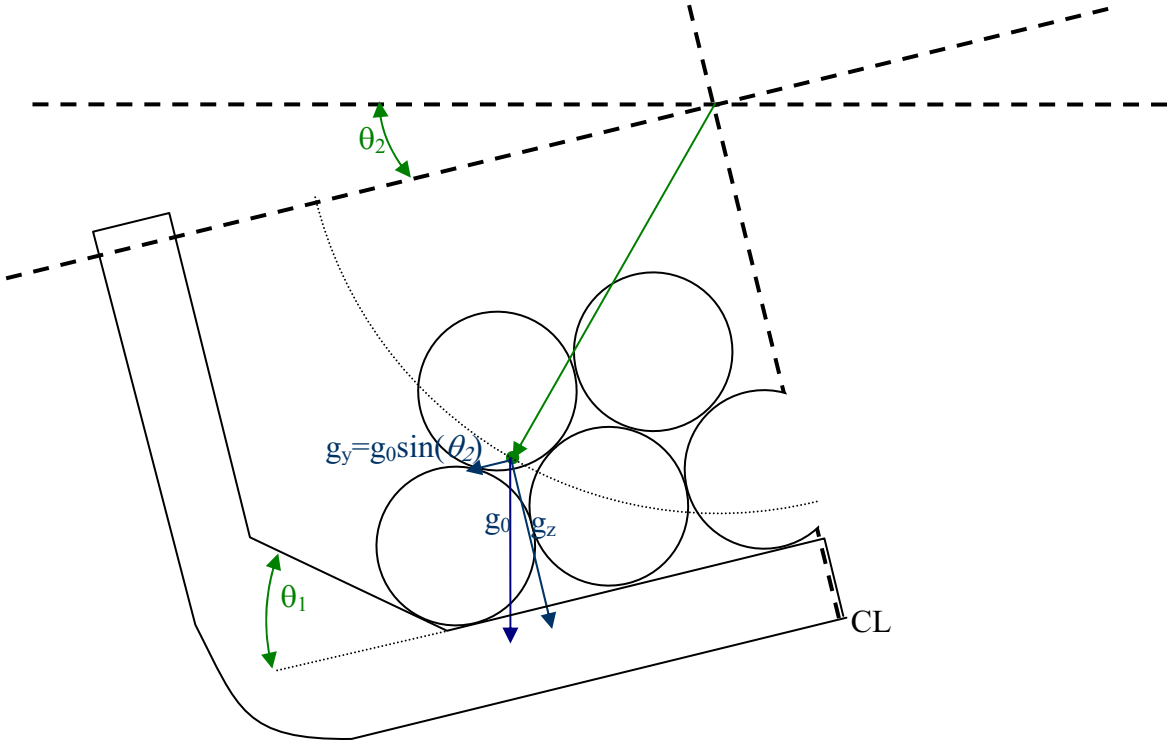


4 章 2 節 3.2 の加速度計算式に基づく規則算式：

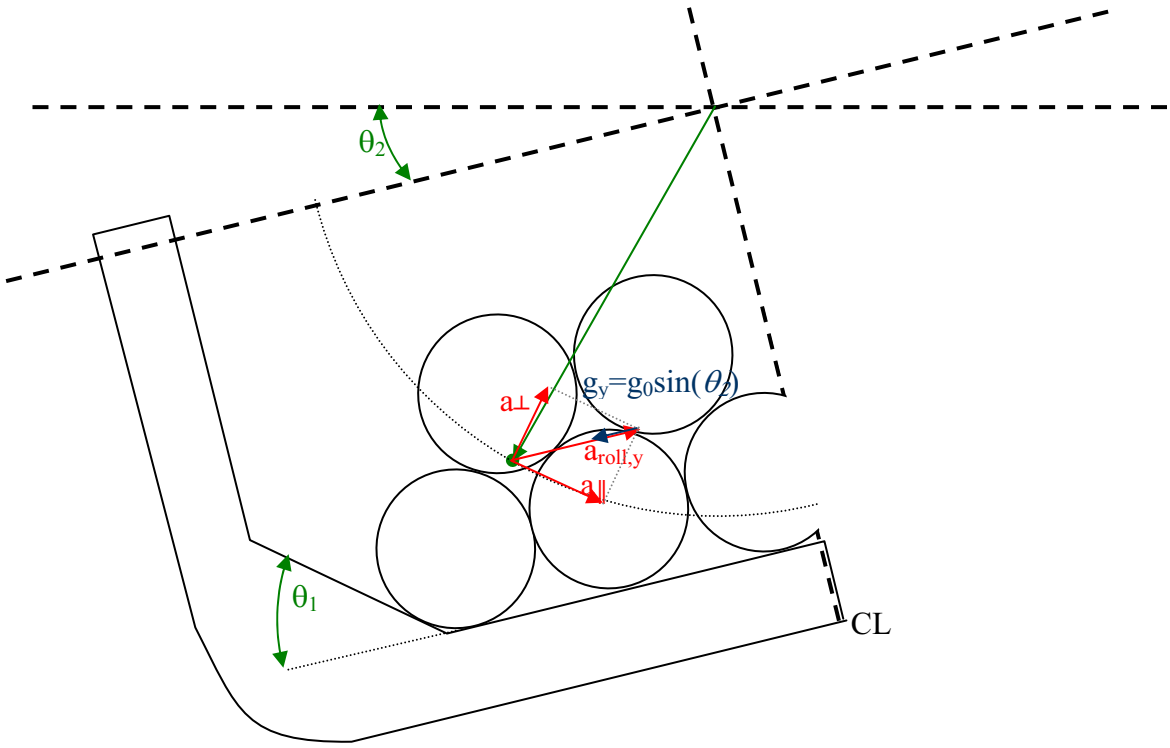
横揺れから生じる成分 $C_{YR}a_{roll\ y}$ は下図のとおりである。



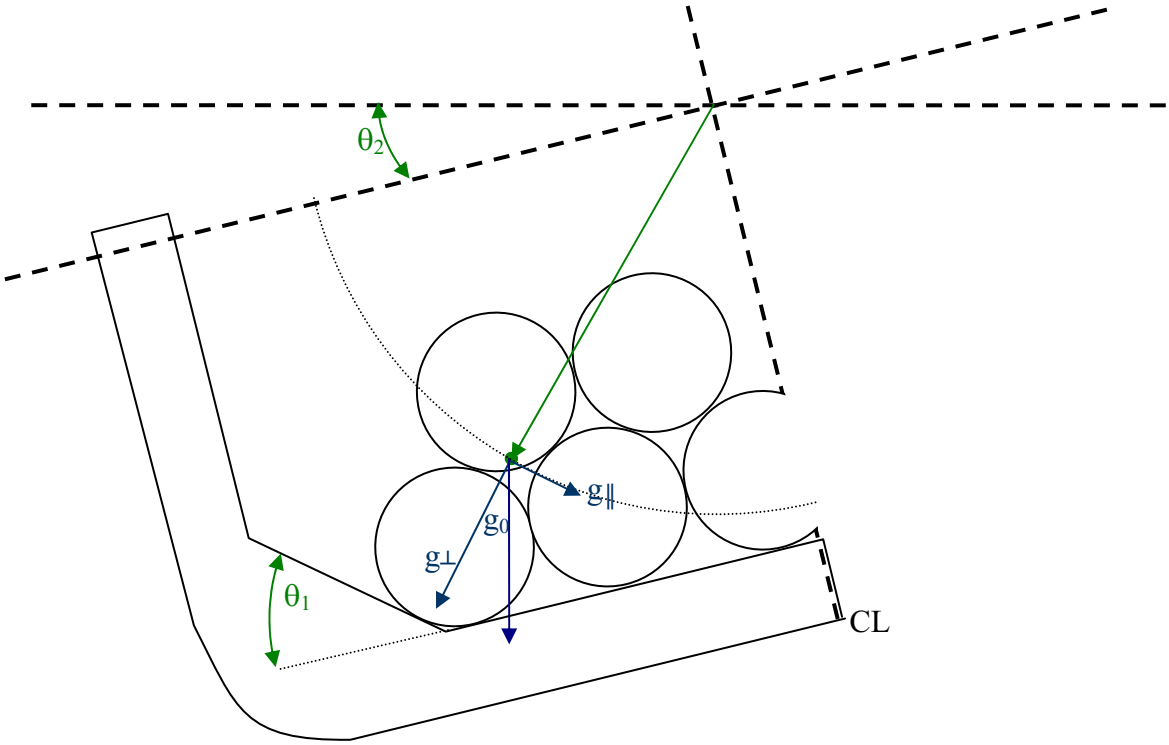
$C_{YG}g_0 \sin\theta_2$ 成分を下図に示す。



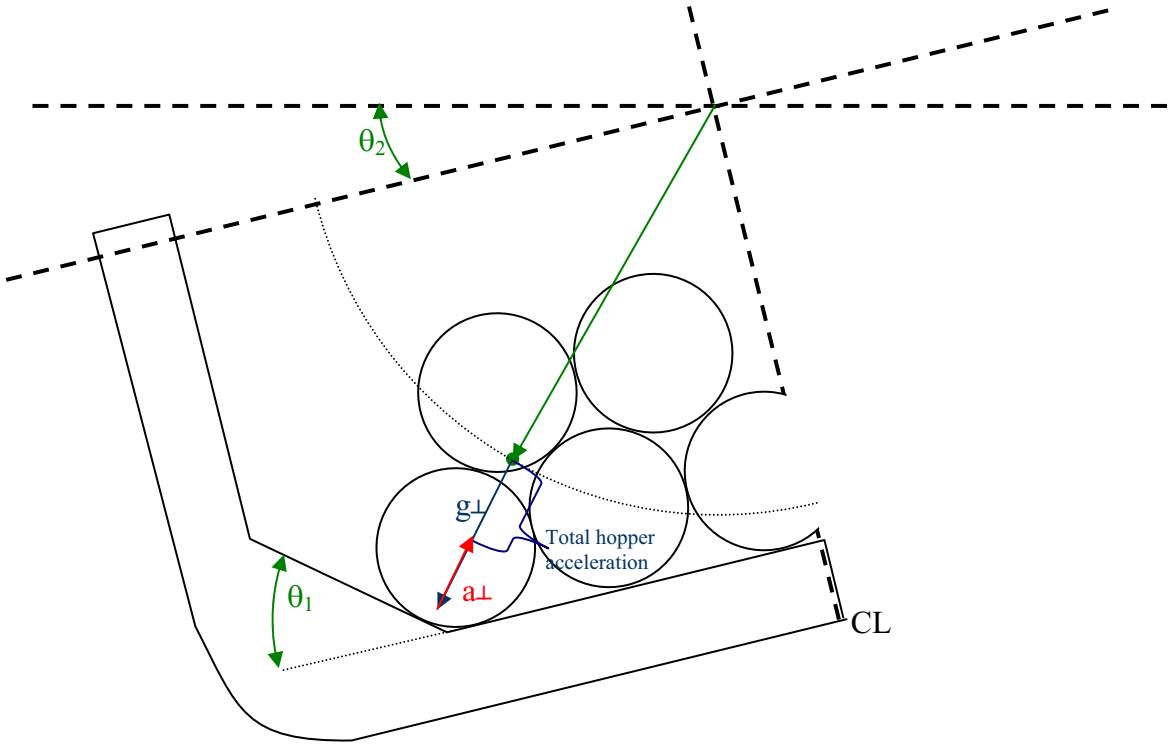
a_{sway} 成分を無視する場合、全ての成分 $a_Y = C_{YG} g \sin\theta + C_{YR} a_{roll\,y}$ を下図に示す。ホッパーに対し垂直な成分 $a_\perp = a_y \sin\theta_1$ を下図に示す。



第二項 $g_\perp = g_0 \cos(\theta_1 - \theta_2)$ を下図に示す：



合計した規則加速度 $a_{\perp} = g\cos(\theta_1 - \theta_2) + a_Y \sin\theta_1$ を下図に示す。



ここで、下記を注意されたい。

１．式中の重力成分は 2 重に考慮されている。

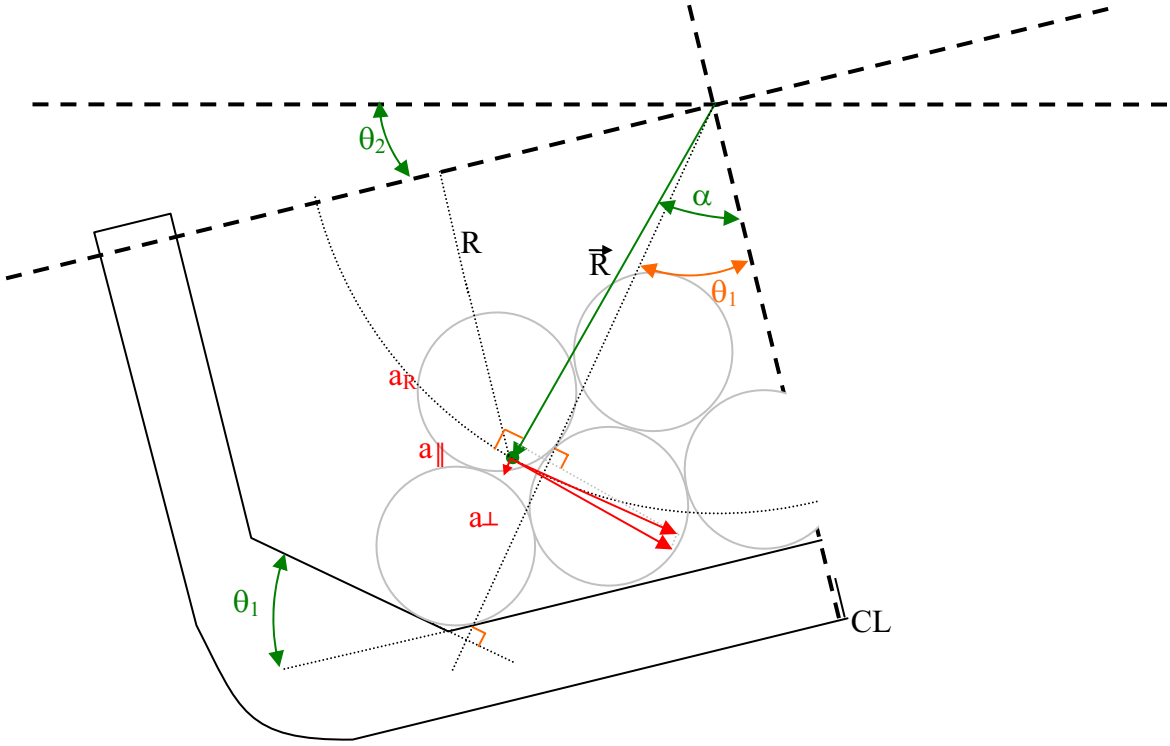
２．横揺れ成分は、2 回分解されている。即ち、ホッパータンクに対する垂直成分(⊥)は横方向加速度 a_y から分解されている。

３．規則算式は、符号のないベクトルを合計する場合がある。これは、ホッパ斜板の角度とベクトル R の角度の割合に依存する。以下に示す図を参照されたい。

以下の代替案を検討されたい。計算は 2 つの基本的な加速度成分である重力 g_0 及び横揺れ加速度 a_{roll} に基づいている。

ホッパーに最も近いコイルは、ホッパーのみで支えられている。即ち、内底板に作用する力は無視される。

横揺れ加速度からホッパーに対して垂直(⊥)の加速度の値を下図に示す。



角度αは下記の通り：

$$\sin\alpha = \frac{y_{COG}}{\left|\vec{R}\right|}$$

さらに、ベクトル $\vec{R}$ は、コイル重心位置（COG）から船体横揺れ中心までのベクトルである。

$$\vec{R} = \left[y_{COG}, R\right]$$

最終的に、角度 α は、次式で表される。

$$\sin\alpha = \frac{y_{COG}}{\sqrt{{y_{COG}}^2 + R^2}}$$

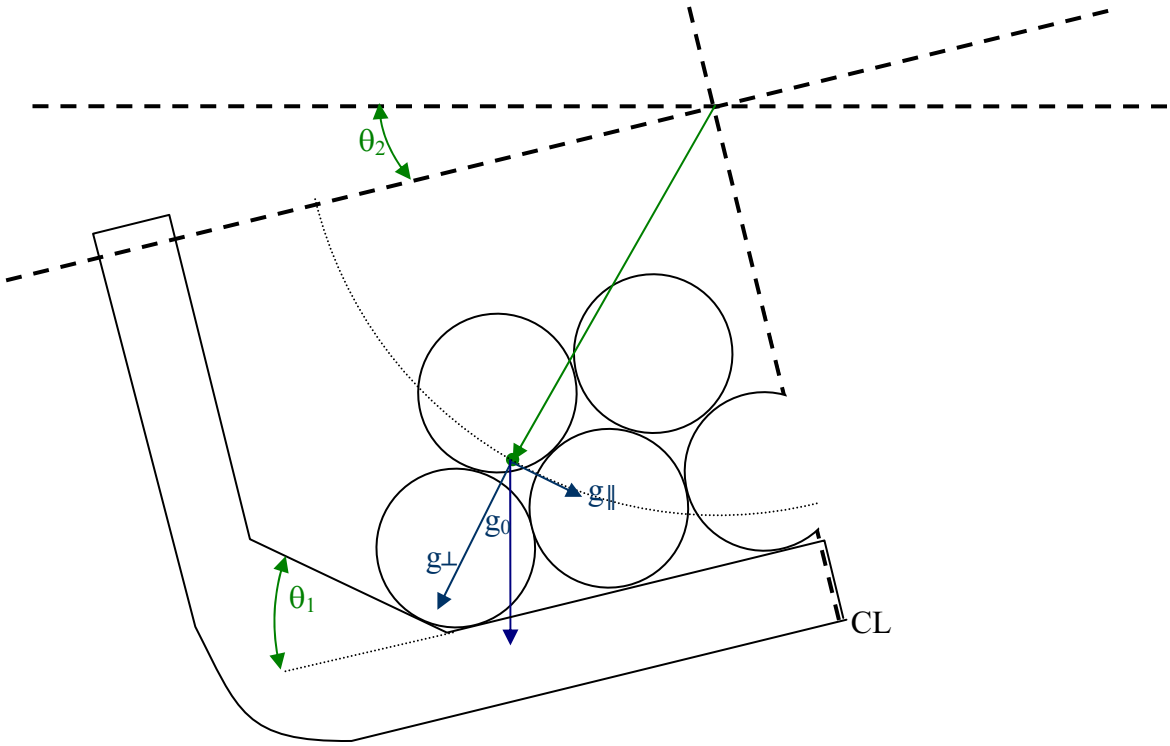
加速度の垂直成分は、次式で表される。

$$a_{\perp} = a_R \sin(\alpha - \theta_1)$$

$$a_R = \theta_2 \frac{\pi}{180}\left(\frac{2\pi}{T_R}\right)^2 \left|\vec{R}\right| = \theta_2 \frac{\pi}{180}\left(\frac{2\pi}{T_R}\right)^2 \sqrt{{y_{COG}}^2 + R^2}$$

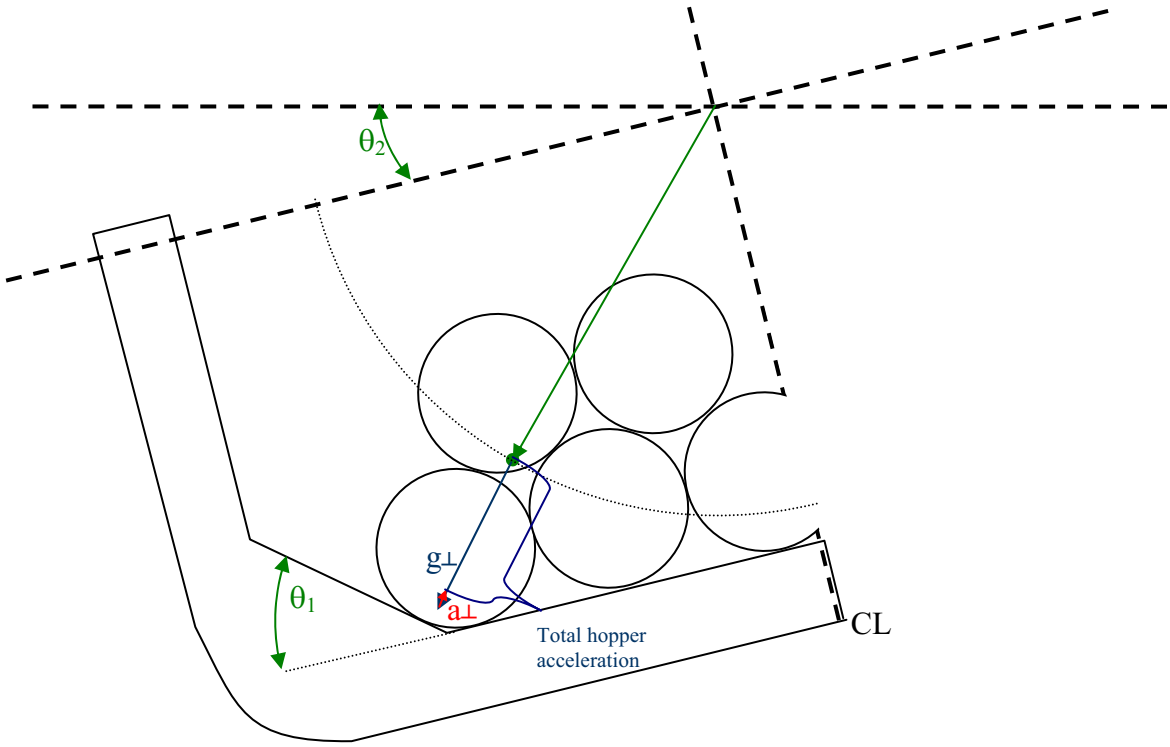
重力加速度成分は、規則算式と同様に以下の算式で表される。 $g_{\perp} = g\cos(\theta_1 - \theta_2)$

下図参照。



合計の加速度は、横揺れによる成分と重力加速度成分の合計となる。

$$a_{\perp} = a_R \sin(\alpha - \theta_1) + g\cos(\theta_1 - \theta_2)$$



左右揺れ成分を含み、荷重組み合わせ係数が導入されるのであれば、加速度は、次式のようになる。

$$a_{\perp} = C_{YR} a_R \sin(\alpha - \theta_1) + g\cos(\theta_1 - C_{YG}\theta_2) + C_{YS} a_{Sway} Sin(\theta_1)$$

直線形状の内殻（ホッパ無しの形状）の場合、$\theta_1 = 90$. EDW R1 は、内殻/ホッパー構造に対し、支配的な状態として通常選定される。EDW R1 による加速度項は、以下のとおりである。

$$a_\perp = g\cos(\theta_1 - \theta_2) + a_Y \sin\theta_1 = g\cos(90 - \theta_2) + a_Y \sin 90 = g\sin(\theta_2) + a_Y$$

$$a_Y = C_{YG} g \sin\theta_2 + C_{YS} a_{sway} + C_{YR} a_{roll\,y} = g\sin\theta_2 + a_{roll\,y}$$

$$\Updownarrow$$

$$a_\perp = g\sin(\theta_2) + g\sin\theta_2 + a_{roll\,y} = 2g\sin\theta_2 + a_{roll\,y}$$

上記、DNV の EDW R1 の仮定によると、加速度項は、以下のようになる。

$$a_\perp = C_{YR} a_R \sin(\alpha - \theta_1) + g\cos(\theta_1 - C_{YG}\theta_2) + C_{YS} a_{Sway} Sin(\theta_1) = a_R \sin(\alpha - 90) + g\cos(90 - \theta_2)$$

$$a_\perp = -a_R \cos(\alpha) + g\sin(\theta_2) = -\theta_2 \frac{\pi}{180}\left(\frac{2\pi}{T_R}\right)^2 \sqrt{{y_{COG}}^2 + R^2}\cos(\alpha) + g\sin(\theta_2), \cos(\alpha) = \frac{|R|}{\sqrt{{y_{COG}}^2 + R^2}}$$

$$a_\perp = -a_R \cos(\alpha) + g\sin(\theta_2) = -\theta_2 \frac{\pi}{180}\left(\frac{2\pi}{T_R}\right)^2 \frac{\sqrt{{y_{COG}}^2 + R^2}\,|R|}{\sqrt{{y_{COG}}^2 + R^2}} + g\sin(\theta_2)$$

$$a_\perp = -a_{roll\,y} + g\sin(\theta_2)$$

CSR において、$a_{roll,y}$ 項は負となり、2 つの項が理想的な場合、係数を 2 倍となる場合を除く。

小型のハンディサイズ BC の場合、$a_{roll,y}$ 項 は、約 0.5 m/s^2 となり、gsin θ_2 = 4.1m/s^2 (横揺れ角 θ_2=25 度となる。)　この場合、

CSR 加速 度 $a_\perp$=7.8m/s^2

DNV 解釈による加速度 $a_\perp$ = 3.6m/s2

となる。

Q1:　規則の基礎加速度算式に基づき直接計算されたホッパーに垂直な加速度は、規則算式よるものより小さくなることに留意されたい。$\sin(\alpha - \theta_1)$の項に依存するが、横揺れ加速度は、重力加速度の方向に作用する。加速度は、重心位置（COG）の定義に対し感度が高いことに留意されたい。COG を定義する手順を、規則で明確に記載しなければならない。IACS KC#380 を参考に、上記の加速度計算を考慮されたい。

Q2: DNV は、2.7.3 の算式による結果が、ホッパー斜板に対し非常に厳しい結果を与えると感じている。多くの場合、ホッパー斜板の板厚が、内底板の要求より過大となる。

ホッパーに作用する力は、内底板に対する力より大きい。このことは、2 段積みに対し、係数 Ck が 4 であることに起因している。この項目の背景に関する詳細を示されたい。DNV のスチールコイルの専門家によると、スチールコイルは、支材で支えられていたとしても、かなり柔に積載されている。ホッパ斜板に作用する力の大きさを考慮するために試験等を実施された事例があるか？