

17p-P12-8

実効厚み理論に基づく両面ガラス構造太陽電池モジュールの強度予測手法

The prediction method for mechanical strength of double-glass type photovoltaic modules based on effective thickness theory

下木有生^{1,3}, 竹田悠太¹, Stephen J. Bennison², 小池康博³デュポン(株)¹, E.I. DuPont², 慶大理工³

E-mail: Yuki.Shitanoki@dupont.com

[背景]

太陽電池モジュールの設置箇所拡大に伴い、モジュールの構造や据付方法の多様化が進んでいる。新規構造かつ新規据付方法のモジュールが十分な強度を有しているかどうかの確認は、多くの場合 IEC61215 に定める落球試験と荷重試験にて行われる。特に荷重試験においては、合計 6 時間 (1 時間×表・裏×3 サイクル) の時間を要する上に、多くても 2, 3 回の試験で割れる・割れないの議論をするため、ガラスが脆弱材料であるがゆえの強度のばらつきが十分に考慮されているとは言い難い。また、強度予測方法として有限要素法によるシミュレーションも盛んに行われているが、EVA のようなやわらかい粘弾性樹脂の時間による緩和の効果を見落としがちである。本発表では、以上のようなガラス材料や封止材に特有の材料物性を考慮した強度予測手法を示す。

[モジュールの実効厚みの計算]

合わせガラス構造の太陽電池モジュールの剛性の指標として「実効厚み」という、単板ガラスで何 mm 厚に相当するかという指標を用いる。上面ガラスの厚み h_1 、下面ガラスの厚み h_2 、封止材厚み t 、ガラスのヤング率 E 、封止材のせん断弾性率を G 、サイズを l 、たわみに対する実効厚みと応力に対する実効厚みをそれぞれ $h_{ef:w}$ 、 $h_{2,ef:\sigma}$ すると下記の式で表現される。

$$h_{ef:w} = \sqrt[3]{h_1^3 + h_2^3 + 12\Gamma l_s} \quad (1)$$

$$h_{2,ef:\sigma} = \sqrt{\frac{h_{ef:w}^3}{h_2 + 2\Gamma l_{s,1}}} \quad (2)$$

$$\left[\begin{array}{ll} h_s = 0.5(h_1 + h_2) + h_t & I_s = h_1 h_{s,1}^2 + h_2 h_{s,2}^2 \\ h_{s,1} = \frac{h_1 h_1}{h_1 + h_2} & \Gamma = \frac{1}{149.6 \frac{E t h_2}{G h_1^2 l_s^2}} \\ h_{s,2} = \frac{h_2 h_2}{h_1 + h_2} & \Gamma - \text{measure of shear transfer (0-1)} \end{array} \right]$$

ここで封止材のせん断弾性率 G として入力する値は、荷重 1 時間後の値が望ましい。我々は 250mm x 100mm の小サンプルで 4 点曲げクリープ試験を行い、実行厚みを実験的に測定しその値からせん断弾性率を逆算して G を見積もった。

[モジュールへ所定荷重を掛けた際の発生応力の計算]

一旦、実効厚みを求めれば、モジュールをその値の厚みを持つ単板ガラスとみなして様々な材料力学の計算式を当てはめることができる。たとえば、2 辺単純支持 (左右 2 辺を台の上に置くだけであり、固定はしない) の場合、下記のような式で最大発生応力を計算できる。

$$\sigma = \beta w a^2 / h_{2,ef:\sigma}^2 \quad (3)$$

ここで、 σ は最大発生応力、 β はモジュールのアスペクト比に依る定数、 a は支持スパンを表す。この発生応力と許容応力 (1/1000 破壊確率に相当) を比較することで、モジュール強度が十分であるかどうかを判別することができる。ガラスは脆弱材料であるため破壊強度は大きくばらつくため、このような発生応力と許容応力を比較することでより正確な強度評価や予測が可能となる。