

(3) 航空機荷重を対象とした軽量合成構造 橋梁の開発

郭 勝華¹・日野 伸一²・山口 浩平³・友田 富雄⁴

¹学生会員 九州大学大学院 工学府 (〒819-0395 福岡市西区元岡 744 番地)

E-mail : kaku@civil.doc.kyushu-u.ac.jp

²正会員 九州大学大学院教授 工学研究院 (〒819-0395 福岡市西区元岡 744 番地)

E-Mail : kohei@doc.kyushu-u.ac.jp

³正会員 九州大学大学院助教 工学研究院 (〒819-0395 福岡市西区元岡 744 番地)

E-Mail : hino@doc.kyushu-u.ac.jp

⁴正会員 日本工営株式会社 交通運輸部 (〒102-8539 東京都千代田区麹町 5-4)

E-Mail : a6139@n-koei.co.jp

空港拡張工事の問題として、施工時に空港土木施設を長期間封鎖し、既存の施設を大きく改修しなければならない点がある。そこで、既存構造物（連絡道路等）に影響を与えない拡張方法が必要となる。

本研究では、これらの課題を解決する新しい拡張方法として、既存の空港土木施設を跨ぐ形で大型航空機荷重に対応した橋梁（誘導路）を設置して、拡張する方法を提案する。この拡張計画には、航空機の輪荷重に耐え、既存の構造物に影響を与えない桁高の低い橋梁形式が必要である。そこで、本研究では試設計解析を行い、大型航空機の輪荷重に対応した橋梁形式の提案を試みた。また、耐震性を考慮して、橋梁上部工の自重を軽減させるために、繊維補強された超軽量コンクリートの適用を解析的に検討し、最適設計を試みた。

Key Words : Aircraft load, Hybrid bridge, Light weight concrete, FEM analysis

1. まえがき

空港拡張工事の問題として、施工時に空港土木施設を長期間封鎖し、既存の施設を大きく改修しなければならない点がある。そこで、既存構造物（連絡道路等）に影響を与えない拡張方法が必要となる。

具体的には図-1(a)で示すような誘導路の下にボックスカルバート製の連絡道路が通っている誘導路に対して

従来の拡張工事を行う場合、図-1(b)に示すように連絡道路および周辺の勾配を大きく改修し、新たにボックスカルバート製の連絡道路を設置し、誘導路を拡張するという方法を取らなければならない。これにより、既存の道路・構造物の改修のため、空港土木施設を長期間閉鎖する必要が出てくる。そこで、図-1(c)に示すように既存の空港土木施設を跨ぐ形で大型航空機荷重に対応した橋梁（誘導路）を設置して、拡張する方法を提案する。

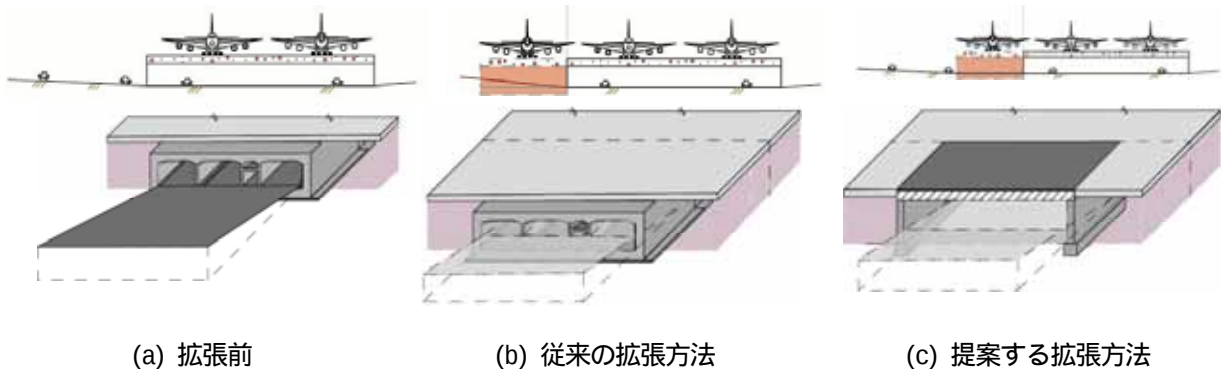


図-1 空港拡張工事の概要

2. 航空機対応橋梁の設計条件

提案する橋梁の設計条件，対象となる LA-0 区分に属する航空機荷重の諸元および誘導路の設計条件¹⁾を表-1，表-2，図-2，図-3に示す．

設計条件を満たす橋梁形式として，既存の設計事例から経済性を考慮して合成桁橋（図-4）と合成床版橋（図-5）を取り上げた．

表-1 設計条件

項目	性能
荷重	大型航空機の輪荷重
寸法	60m×40m
桁高	支間の1/20 (2.0m)
施工性	既存施設を封鎖しないこと

表-2 航空機荷重

総質量 (kN)	前輪荷重		後輪荷重	
	脚荷重 (kN)	接地圧 (N/mm ²)	脚荷重 (kN)	接地圧 (N/mm ²)
6664	436	1.52	1557	2.71

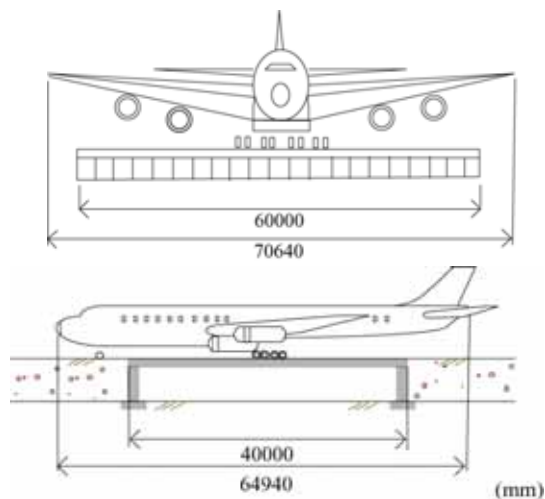


図-2 航空機および橋梁の寸法

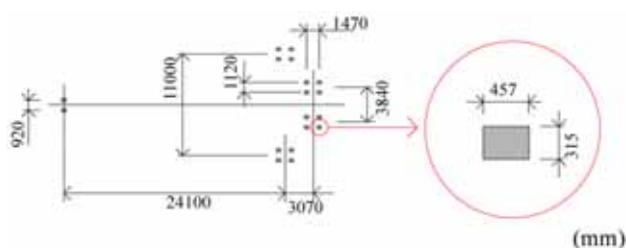


図-3 輪荷重位置

3. FEM解析による橋梁形式の検討

汎用 FEM アプリケーションソフトを用いて，合成桁橋と合成床版橋の航空機特殊橋梁への適用性の検証を行う．航空機荷重を受ける橋梁の力学的基本特性であるたわみ，応力について設計条件と対比し，橋梁形式・最適寸法の選定を行う．解析モデルは，支間 40m，幅員 60m の橋梁の対称性を考慮した 1/2 モデルとした．載荷する航空機荷重は，橋梁に最も不利な状況を考慮して，橋梁中央部に載荷させる．この場合，前輪は橋梁上ではないが，後輪荷重に振り分けて載荷する．また，航空機対応の橋梁に関する基準が存在しないので，材料の設計許容値は道路橋示方書²⁾を準用し，たわみの許容値は支間の 1/500 とした．

(1) 橋梁形式の選定

FEM 解析により，提案橋梁に航空機荷重を載荷させた場合の各部材の必要寸法を検討する．解析の載荷荷重は自重を考慮し，航空機の輪荷重を主桁の真上に載荷する場合および主桁間の床版中央の位置に載荷する場合を検討した．

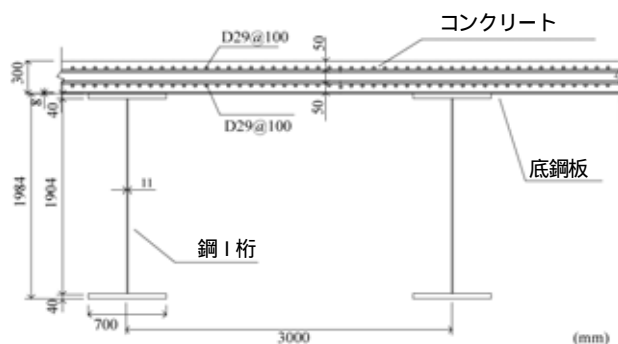


図-4 合成桁橋

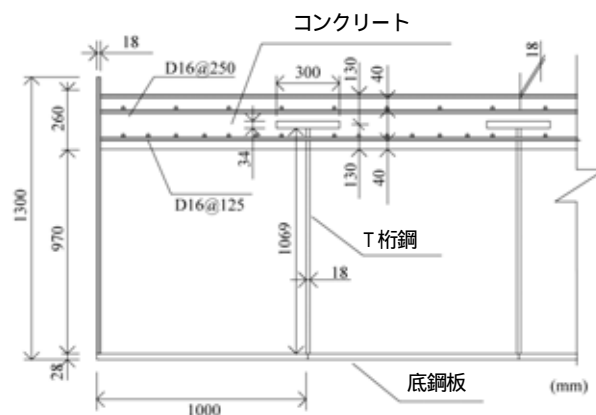


図-5 合成床版橋

解析の条件として、コンクリート部材はひび割れ発生後直接ひずみ軟化するモデルで 20 節点 3D ソリッド要素とした。また、鉄筋・鉄骨はひずみ硬化係数を $E/1000$ としたバイリニアモデルで 8 節点薄肉シェル要素とした。材料係数は、コンクリートは圧縮強度 30 N/mm^2 、ヤング係数 30 kN/mm^2 、係数 30 kN/mm^2 、鋼材 (SM490Y)、鉄筋 (SD295) は降伏強度 400 N/mm^2 、ヤング係数 210 kN/mm^2 とした。また、施工の手順を考慮して鋼 I 桁を架設した後、場所打ちコンクリートを打設する活荷重合成として計算した。解析結果を表-3、表-4 に示す。

解析結果より、両タイプの構造とも航空機荷重に対応できることが判断できたが、合成床版橋の方が、

- a) 外形構造が単純なため、防食性能等を含めた維持管理面で有利である。
 - b) 施工時、足場や交通規制が不要であるため、供用中の空港設備への影響が少ない。
- という点から、設計条件に適切であると判断した。

表-3 合成桁橋の線形解析結果

項目		荷重載荷位置		許容値
		桁直上	床版中央	
応力 (N/mm^2)	引張鉄筋 (橋軸)	26.7	44.5	140
	圧縮鉄筋 (橋軸直角)	7.10	94.5	140
	ウェブ	59.6	53.6	210
	底鋼板	197	210	210
たわみ (mm)		42.0	45.2	80.0

表-4 合成床版橋の線形解析結果

項目		荷重載荷位置		許容値
		桁直上	床版中央	
応力 (N/mm^2)	引張鉄筋 (橋軸直角)	78.7	89.4	140
	圧縮鉄筋 (橋軸直角)	-72.9	-85.1	-180
	ウェブ	-35.7	-37.0	-210
	底鋼板	142	145	190
たわみ (mm)		74.9	77.2	80.0

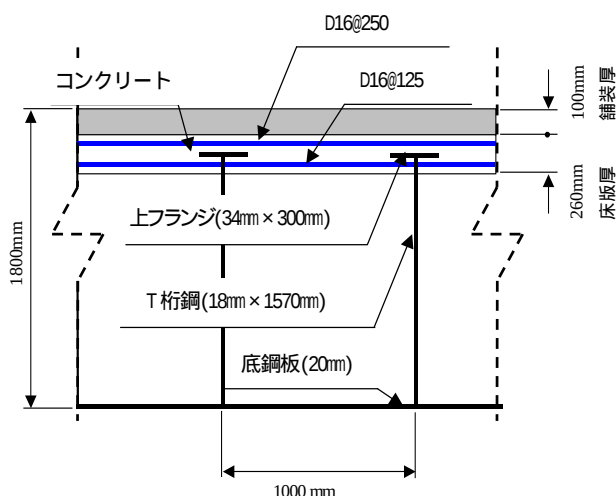


図-6 提案構造の寸法

(2) 合成床版橋の最適寸法の検討

前述の FEM 解析結果により、合成床版橋解析モデルの断面寸法はまた余裕があることがわかった。そこで、実際の設計条件を考えた最適寸法を FEM 解析で検討してみた。提案する合成床版橋の構造寸法を図-6 に示す。

載荷荷重は、前節に述べた解析と同じく死荷重と活荷重にわけてモデル化した。死荷重は図-7 に示すように自重、アスファルト舗装および均しコンクリートによる荷重の 3 種類である。また、鉄筋は SD345 に、たわみの許容値は支間の $1/800$ に変更した。

(3) FEM 解析結果および検討

表-5、6 に床版中央載荷と中央桁直上載荷の解析結果を示す。同表より、たわみおよび各部位の発生応力は許容値以下になることがわかった。また、その発生応力は構造自重の影響を含めて考慮しても安全であることがわかった。図-8 に、桁直上載荷の場合の床版部の変形図を示す。同図より、通常の自動車荷重が満載された場合の変形とは異なり、橋梁中央の一点に集中的に輪荷重が作用する航空機荷重特有の変形を呈していることがわかる。

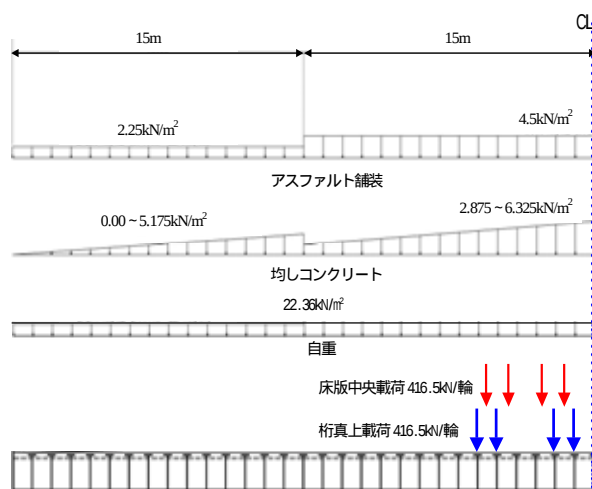


図-7 載荷荷重のモデル化

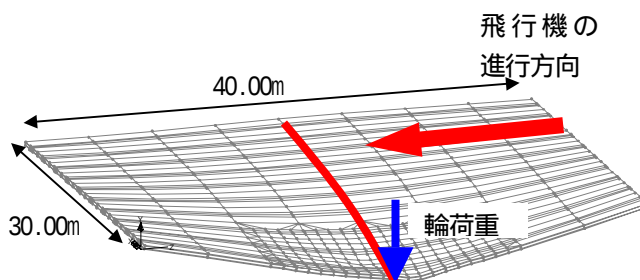


図-8 変形図

表-5 床版中央載荷

項目	活荷重	死荷重			計	許容値
		アスファルト	均しコンクリート	自重		
引張鉄筋(N/mm ²)	77.7	1.20	1.20	0.0	80.1	200
圧縮鉄筋(N/mm ²)	-66.4	-24.5	-26.0	0.0	-117	-180
ウェブ(N/mm ²)	-13.1	-33.2	-35.5	-9.90	-81.8	-210
底鋼板(N/mm ²)	77.7	17.1	18.1	51.5	164	190
たわみ(mm)	49.8	104	111	72.8	49.8	52.0

表-6 桁直上載荷

項目	活荷重	死荷重			計	許容値
		アスファルト	均しコンクリート	自重		
引張鉄筋(N/mm ²)	46.8	2.70	3.80	0.0	49.5	200
圧縮鉄筋(N/mm ²)	-63.1	-25.3	-27.1	0.0	-88.4	-180
ウェブ(N/mm ²)	-22.4	-33.2	-35.5	-9.90	-55.6	-210
底鋼板(N/mm ²)	78.5	17.1	18.1	51.5	165	190
たわみ(mm)	50.0	104	111	72.8	50.0	52.0

表-7 橋梁自重の内訳（普通コンクリート）

	体積 (m ³)	単位質量 (t/m ³)	自重 (t)	比率 (%)
コンクリート	652	2.30	1500	55.1
鉄筋	8	7.86	60	2.2
底鋼板	50	7.86	394	14.5
鋼桁	98	7.86	770	28.3
合計	808	-	2724	100

表-8 橋梁自重の内訳（軽量2種コンクリート）

	体積 (m ³)	単位質量 (t/m ³)	自重 (t)	比率 (%)
コンクリート	652	1.50	978	44.4
鉄筋	8	7.86	60	2.7
底鋼板	50	7.86	394	17.9
鋼桁	98	7.86	770	35.0
合計	808	-	2203	100

4. 鋼繊維補強した軽量2種コンクリートの本研究への適用性の検討

前章の解析結果から底鋼板の発生応力は他の部位に比べて大きいことがわかった。そこで、表-7 に示すように橋梁上部工自重の 55.1%を占める床版コンクリートの軽量化を図ることにより、底鋼板の発生応力の低減について検討した。本研究は過去に実施した鋼繊維補強により普通コンクリートと同等の力学的性質を有する鋼繊維補強した軽量2種コンクリートを用いることとした。

(1) 鋼繊維補強した軽量2種コンクリートの材料特性

コンクリートは、構造材料として耐久性、耐火性などに優れ、鋼材と組み合わせることでお互いの長所を活かし、単独では得ることができない優れた特性を有することができる。近年、コンクリート構造物の巨大化、高層化による断面の複雑化、自重や環境負荷の低減から軽く



(a) 粗骨材



(b) 細骨材

図-9 軽量骨材



(a) フックエンド式



(b) インデント式

図-10 鋼繊維

で強いコンクリートが望まれている。また、環境破壊が問題視される中、環境に優しいコンクリート構造物の施工が必要となっている。

コンクリートの軽量化を行うことは、構造物の小断面化、施工の簡略化から省資源・省エネルギーに結びつき、CO₂ 排出量の減少にもつながる。その改善策として超軽量コンクリートの適用が検討されている。本研究では軽量2種の中で比重 1.5 程度のものを超軽量コンクリート

として位置付けている．超軽量コンクリートは粗骨材，細骨材ともに人工軽量骨材を用いたコンクリートで，普通コンクリートに比べ約 3 割の軽量化が可能である．しかし，骨材自体の強度が小さいため，引張強度，せん断強度が普通コンクリートの 7 割程度に低下する．その補強方法として短繊維を混入する方法がある³⁾．

しかしながら，RC 床版の押し抜きせん断耐力については，土木学会規定のコンクリート標準示方書⁴⁾では軽量コンクリートの単位容積質量に関わらず一律 70%に低減すること，鋼繊維補強コンクリート設計施工指針（案）⁵⁾では設計曲げ基準強度に応じて 1.1～1.3 の割増係数を乗じることと規定されている．しかし，これでは骨材種類や繊維種類の違いを考慮することができない．

また，鋼繊維補強した超軽量 RC 部材の場合は軽量化と鋼繊維混入の二つの要素があるため，現在の算定方法では明確な評価ができない．

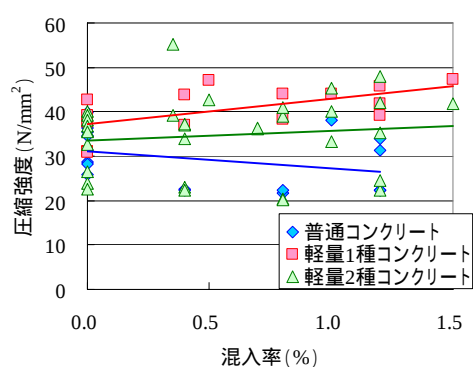
そこで本研究では，著者らが実施した鋼繊維補強した軽量 2 種コンクリートを含めた材料実験のデータをまとめ，鋼繊維補強した軽量 2 種コンクリートの材料特性により既往の算定式を修正した．使用軽量骨材と鋼繊維を図-9，10 に示す．

検討項目としたコンクリートの圧縮強度，ヤング係数，引張強度，曲げ強度をそれぞれ図-11(a)，(b)，(c)，(d) に示す．図-11(a)により，圧縮強度はコンクリートの種類と関わらず鋼繊維混入率による明確な違いは見られないことがわかった．同じ傾向は図-11(b)に示したヤング係数からも確認できた．それに対して，図-11(c)，(d)から引張強度と曲げ強度はコンクリートの種類と関わらず，混入率の増加と共に増加することが確認されたが，その増加率は軽量コンクリートの方が明らかに普通コンクリートより大きいと確認できた．これらにより軽量コンクリートの鋼繊維の補強作用が確認できた．

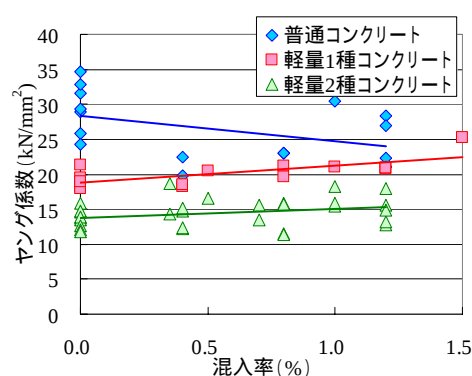
(2) 軽量 2 種コンクリートの適用性の検討

軽量 2 種コンクリートの採用により，提案構造のコンクリート自重を約 35%，全体自重の約 20%を低減できることがわかった．そこで，底鋼板の発生応力への影響について FEM 解析で検討した．解析モデルおよび解析条件は前述と同じものを用いており，コンクリートを軽量 2 種にして，底鋼板厚さを変化させた．

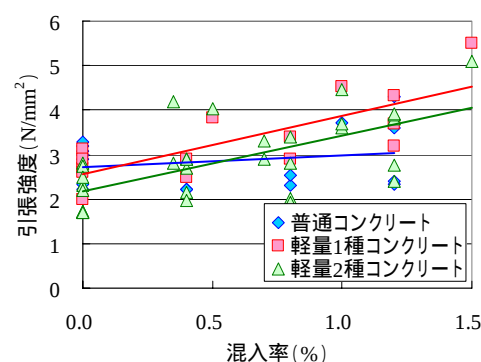
解析結果を図-12 に示す．軽量コンクリートを用いることにより底鋼板の発生応力は約 7%低減することがわかった．さらに，底鋼板厚を 18mm と薄くした場合でも，その発生応力は普通コンクリートを用いた場合と同程度であり，コンクリートの軽量化は有用であることがわかった．



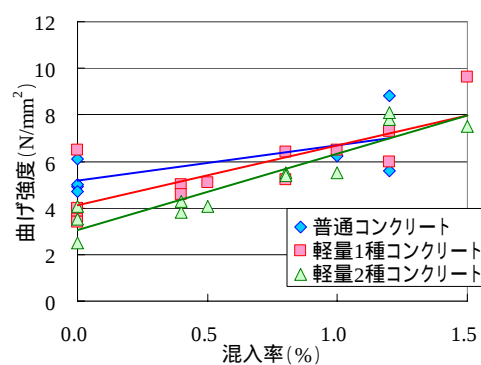
(a) 圧縮強度



(b) ヤング係数

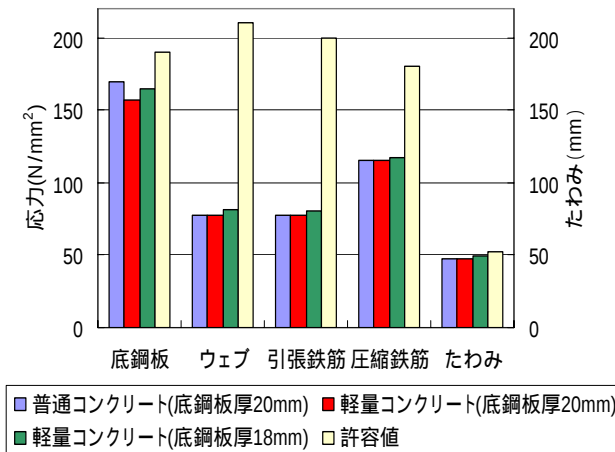


(c) 引張強度

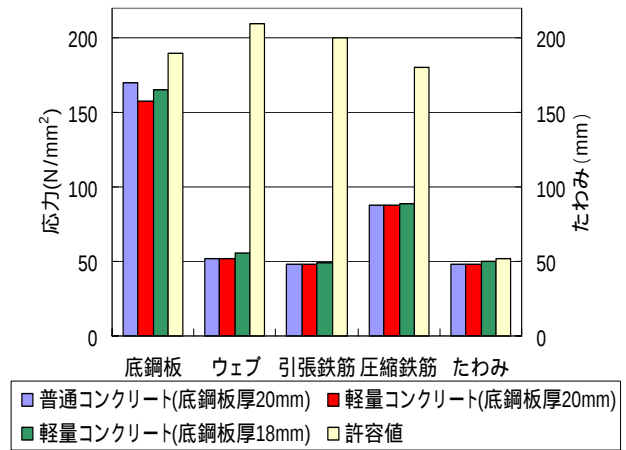


(d) 曲げ強度

図-11 コンクリートの材料特性



(a) 床版中央載荷



(b) 桁直上載荷

図-12 解析結果の比較

5. まとめ

解析検討の結果、提案構造は大型航空機荷重に対応できると判断できる。しかし、局部的に大きな集中荷重が作用する部分の床版と T 桁鋼とのずれ止め、繰返し載荷する航空機荷重に対する床版の耐久性については、今後検討する必要がある。また、今回は RC 床版を対象としたが、PC 床版を使用した場合の適用性、桁高と主桁径間の変化による最適寸法、コスト面について検討を行っていく必要がある。

参考文献

- 1) 国土交通省航空局監修：空港土木施設設計基準，平成 13 年 4 月
- 2) 社団法人 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 共通編 鋼橋編，平成 14 年 3 月
- 3) 山口浩平ほか：短繊維補強された超軽量コンクリートを用いた RC はりのせん断耐力評価，コンクリート工学年次論文集，Vol.28，pp.1489-1494，2006.7.
- 4) 土木学会：コンクリート標準示方書（構造性能照査編），2002
- 5) 土木学会：鋼繊維補強コンクリートの設計施工指針（案），コンクリートライブラリー50，1983

DEVELOPMENT OF HYBRID BRIDGE BY SUPER-LIGHT WEIGHT CONCRETE INTENDED FOR AIRCRAFT LOAD

Shenghua GUO, Shinichi HINO, Kohei YAMAGUCHI and Tomoo TOMODA

As a problem of the airport expansive construction, the airport facilities is blockaded for a long term under constructing and it is a point to have to repair existing facilities greatly. Then, the expansive construction of no influence on an existing structure such as connection road is needed. In this study, as a new method of expansive construction for solving these problems, it has been proposed the enhancing method by setting up the bridge (taxiway) corresponding to the large-scale aircraft load to exceed existing airport facilities. It is necessary the proposal bridge for aircraft, the bridge form with low girder height because of no influence an existing structure for this expansive planning.

In this study, it has been carried out to propose the bridge form corresponding to the wheel load of a large-scale aircraft by 3D FEM. Moreover, the adaptability of the super-light weight concrete (specific gravity 1.5) with short fiber reinforcement was examined to reduce the self-respect. It was clarified that the proposal bridge could act the large-scale aircraft load and applicable to super-light weight concrete to reduce the dead load was effectively.